

Dosen Pembimbing
AKBAR HANDOKO, M.Pd

DIKTAT **TEORI EVOLUSI** *Pendidikan Biologi*

Paus



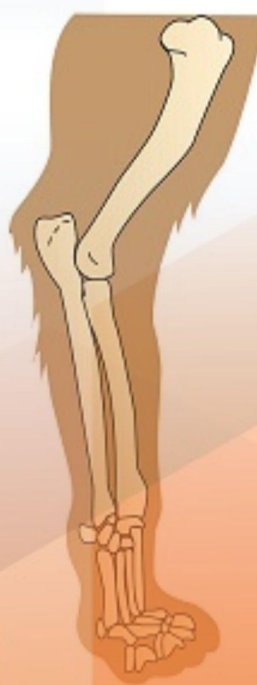
Katak



Kuda



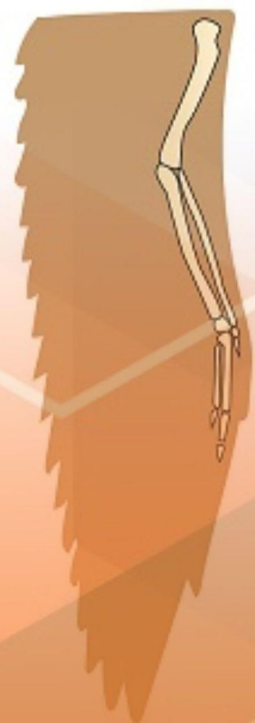
Harimau



Manusia



Burung



EKA SARI

UIN RADEN INTAN LAMPUNG



**EVOLUSI
(DIKTAT KULIAH)**

**Di Susun Oleh:
Eka Sari
(1211060185)**

**Dosen Pembimbing:
Akbar Handoko, M.Pd**



**PROGRM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN INTAN
LAMPUNG
1442 H / 2020 M**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia Nya kepada kita semua. Atas nikmat dan karunaNya pula diktat EVOLUSI ini dapat diselesaikan.

Diktat Evolusi ini disusun dari berbagai literatur yang diperuntukkan sebagai bahan pegangan mahasiswa pendidikan Biologi yang mengampu mata kuliah Evolusi.

Ucapan terimakasih penyusun sampaikan kepada Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung, dan Ketua Prodi Pendidikan Biologi yang telah memberikan dorongan untuk selesainya Diktat ini.

Diktat mata kuliah Evolusi ini jauh dari kesempurnaan, maka saran dan kritik yang membangunt sangat penyusun harapkan .

Bandar Lampung, Oktober 2020
Penyusun

Eka Sari

DAFTAR ISI

COVER	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iii
KONTRAK PERKULIAHAN	v
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Pengertian Evolusi	1
 BAB II SEJARAH TEORI EVOLUSI.....	
A. Masa Pra Darwin	3
B. Masa Darwin.....	7
C. Pasca Darwin.....	11
LATIHAN	13
DAFTAR PUSTAKA	14
 BAB III BUKTI- BUKTI EVOLUSI.....	
A. Bukti dari Paleontologi	15
B. Bukti dari Taksonomi	17
C. Bukti dari Anatomi Perbandingan	18
D. Bukti dari Embriologi Perbandingan	20
E. Bukti Dari Biokimia Dan Serologi Perbandingan.....	21
F. Bukti Dari Fisiologi Perbandingan	22
LATIHAN	23
DAFTAR PUSTAKA	24
 BAB IV ASAL USUL KEHIDUPAN DAN KEANEKARAGAMAN	
A. Asal Usul Kehidupan.....	25
B. Berdasarkan Catatan Fosil	26
C. DNA vs RNA	27
D. Asal Usul Keanekaragaman	28
LATIHAN	35
DAFTAR PUSTAKA	36
 BAB V. SELEKSI ALAM DAN VARIASI.....	
A. Seleksi Alam.....	37
B. Contoh-Contoh Seleksi Alam	39
C. Variasi	41
LATIHAN	44
DAFTAR PUSTAKA	45

BAB VI. SPESIES DAN SPESIESI.....	46
A. Konsep Spesies.....	46
B. Mekanisme Spesiesi.....	49
LATIAHAN	51
DAFTAR PUSTAKA	52
BAB VII. INTERAKSI MSHLUK HIDUP DENGAN LINGKUNGANNYA	
A. Domestika, Modifikasi, Dan Variasi.....	53
B. Ketergantungan Mahluk Hidup Dengan Lingkungannya	54
C. Pengaruh Mahluk Hidup Dengan Lingkungannya	55
LATIHAN	57
DAFTAR PUSTAKA	58

KONTRAK PERKULIAHAN

Mata kuliah/ kode	: Evolusi / BIO.635
Semester / SKS	: VI / 2 SKS
Prasyarat	: -
Jurusan/ Prodi	: Prodi Biologi
Pembina mata kuliah	: Akbar Handoko, M.Pd
Hari pertemuan / jam	: -
Tempat pertemuan	: Gedung Perkuliahan Biologi

1. MANFAAT MATA KULIAH

Manfaat dari mata kuliah ini memberikan pengetahuan tentang materi evolusi kepada mahasiswa

2. DESKRIPSI MATA KULIAH

Mata kuliah ini merupakan mata kuliah wajib. Materi pada mata kuliah ini membahas tentang teori evolusi, pengaruh seleksi alam terhadap teori evolusi, bukti-bukti dan petunjuk adanya evolusi pada tumbuhan, hewan dan manusia.

3. STANDAR KOMPETENSI MATA KULIAH

Mahasiswa memiliki pemahaman yang utuh terhadap implementasi teori evolusi dalam kehidupan serta mampu memberikan solusi terhadap permasalahan yang berkaitan dengan teori evolusi.

4. KOMPETENSI DASAR MATA KULIAH

Pada akhir kuliah Evolusi mahasiswa diharapkan akan mampu menjelaskan konsep dasar evolusi. Dapat menjelaskan bukti, proses dan mekanisme evolusi. Dapat juga menjelaskan keterkaitan antara evolusi dengan bidang ilmu biologi lain.

5. STRATEGI PERKULIAHAN

Metode perkuliahan adalah ceramah dan diskusi. Agar mahasiswa mudah menganalisis dan memahami ilmunya, maka diberi tugas menyusun makalah dan mendiskusikan di dalam kelas.

6. REFERENSI MATA KULIAH

Hassan, Munif Said, Ferial, Eddyman W., Soekendarsi, Eddy. 2014. *Pengantar Biologi Evolusi*. Jakarta: Penerbit Erlangga, Campbell, 1992. *Biology*. Benjamin Cummings Publ. Co.

7. TUGAS MATA KULIAH

1. Kuliah dimulai sesuai dengan jadwal tatap muka, diharapkan sebelumnya mahasiswa telah membaca modul, diktat atau buku bacaan kuliah.
2. Evaluasi tengah semester dilakukan pada saat jadwal kuliah minggu ke-8, dan evaluasi akhir semester mahasiswa diuji dengan soal-soal esay.
3. Dua tatap muka terakhir diisi dengan diskusi kelas, dengan mempresentasikan makalah kelompok.

8. KRITERIA PENILAIAN MATA KULIAH

Aspek Penilaian:

1. Nilai keaktifan saat proses pembelajaran
2. Nilai tugas mandiri
3. Nilai tugas kelompok
4. Kualitas hasil (benar atau tidaknya hasil akhir dan kerapihan)

Penilaian:

1. Keaktifan : 10 %
2. Tugas : 20 %
3. Kuis : 10 %
4. UTS : 30%
5. UAS : 30%

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada zaman dahulu para ilmuwan mencari asal mula pertama di bumi sehingga para ilmuwan-ilmuan mengemukakan pendapat yang berbeda-beda baik dari segi Al Qur'an maupun dari segi ilmu barat salah satunya adalah Darwin mengemukakan mekanisme, bahwa satu spesies dapat berubah menjadi spesies lain. Pengikut Darwin-isme menganggap mekanisme Darwin sebagai acuan bahwa manusia adalah keturunan kera.

Sedangkan para ilmuwan menduduki posisi tertentu karena sasarannya adalah rekayasa reproduksi. Bahkan banyak perbedaan para pakar ilmuwan tentang asal usul manusia itu sendiri sehingga membuat kita bingung dari mana asal manusia yang sebenarnya. Manusia diciptakan lebih sempurna dari makhluk yang lainnya perlu kita ketahui dari mana asal usul kita, agar kita menyadari dari mana asal kita, untuk apa kita diciptakan kebumi yang seluas ini. Tentunya dengan mengetahui semua itu, kita sebagai manusia akan lebih menjalankan semua tugas dan kewajiban kita dan sadar bahwa hanya kepada-Nya lah kita akan kembali. Tetapi terdapat suatu kesan bahwa persepsi barat tidak sama dengan teori Al-Qur'an, padahal sukses tidaknya penelitian tersebut ditentukan oleh akal dan wahyu sehingga apabila keduanya dipadukan akan mencapai sebuah kebenaran.

Persepsi yang keliru tentang rekayasa reproduksi menganggap bahwa penelitian tersebut hanya semata mata asal mula kehidupan sehingga menghambat kepada pemikir-pemikir sains islam, dari perbedaan pendapat tentang asal usul maka Al-Qur'an lah yang mampu memberikan jawaban atas pertanyaan dari mana manusia berasal dan bagaimana manusia berkembang. Untuk lebih jelasnya dalam makalah ini akan membahas tentang teori evolusi dan juga rekayasa reproduksi menurut ilmu pengetahuan barat dan islam.

BAB II

SEJARAH TEORI EVOLUSI

A. Pengertian teori Evolusi

Evolusi adalah perubahan generasi ke generasi yang menurunkan sifat yang berbeda dari nenek moyangnya dan berlangsung dalam waktu yang lama. Evolusi, sebagai cabang Biologi dalam rumpun Sains, adalah ilmu yang mempelajari tentang perubahan yang terjadi secara berangsur-angsur menuju kesesuaian dengan waktu dan tempat. Sebagai ilmu pengetahuan, kajian evolusi didasarkan atas data keanekaragaman dan keseragaman makhluk hidup dalam tingkat komunitas, dan kemudian dalam perkembangan berikutnya didukung oleh data-data penemuan fosil, sehingga tidak pernah dapat menerangkan dengan lengkap apa yang pernah terjadi pada masa lampau. Hal inilah yang kemudian oleh para penentang paham evolusi digunakan sebagai dasar penolakan mereka. Terlebih lagi jika penentang itu berasal dari tokoh agama, mereka melawan paham evolusi dengan tetap menunjukkan apa yang telah tersurat dalam kitab suci mereka. Maka untuk lebih menetralisasi (memperlunak) agar pertentangan tidak lebih meruncing paham evolusi sering juga disebut sebagai Hipotesis Evolusi, yang kebenarannya masih perlu diuji lebih lanjut.

Evolusi dapat dipelajari dengan metode pendekatan tertentu. Misal : mempelajari struktur organisme yang masih berkerabat, mengaitkan perubahan ciri-ciri yang masih bisa dilacak, kemudian mempelajari proses evolusi dari suatu kelompok secara utuh, dari bentuk yang primitif sampai bentuk yang terlihat sekarang. Berdasarkan hal ini, maka setiap organisme, yang ada sekarang dan pernah ada, mempunyai nenek moyang (anestor) yang berlainan dalam hubungan

kekerabatan pada suatu masa tertentu, meskipun jika dilacak ke belakang sampai pada masa awal kehidupan, semua memang berawal dari satu moyang asal. (Munif Said Hasan, dkk :2014)

Selama perjalanan teori evolusi, sejak pertama kali digagas sampai sekarang, telah mengalami tahapan-tahapan penting. Pada hakekatnya apa yang telah digagas dan dikembangkan oleh para pakar evolusi itu selalu menampilkan pemikiran yang bersifat :

- Sebagai upaya untuk menjelaskan fakta-fakta dan memadukannya dengan konsep esensial dalam teori evolusi, sehingga teori evolusi terus mengalami perkembangan dari waktu ke waktu demikian juga dengan konsep-konsepnya.
- Teori evolusi tidak bertentangan dengan agama manapun di dunia Teori evolusi modern dapat menjelaskan proses-proses yang terjadi/ mungkin terjadi pada masa lampau, meskipun sebagian masih bersifat hipotetik, namun selalu didasarkan pada fakta (fenomena) dan asumsi-asumsi yang kuat.

Meskipun teori evolusi selalu diasosiasikan dengan Charles Darwin, namun sebenarnya biologi evolusioner telah berakar sejak zaman Aristoteles. Darwin adalah ilmuwan pertama **peletak dasar-dasar ilmiah** teori evolusi, karena telah banyak terbukti mapan menghadapi pengujian ilmiah. Sampai saat ini. Konsep utama teori Darwin mengenai evolusi adalah tentang **seleksi alam** yang dianggap oleh mayoritas komunitas sains sebagai teori terbaik dalam menjelaskan peristiwa evolusi.

B. Teori- Teori Evolsi

1. Teori Evolusi Menurut Islam

Darwin dalam bukunya *On The Origin of Species* yang terbit di Inggris tahun 1959 M, berusaha mengetengahkan sebuah teori mengenai asal-usul *species* melalui seleksi alam. Darwin berusaha menemukan mekanisme, bahwa satu *species* dapat berubah menjadi *species* lain. Pengikut Darwin yang paling ekstrim menjadi *Darwinisme* itu, menganggap mekanisme Darwin sebagai acuan bahwa manusia adalah keturunan kera. Atas *Darwinisme* tersebut, P.P. Grasse dalam bukunya *L'homme Accusation* (manusia sebagai tertuduh) berusaha mencari bukti kebenaran *Darwinisme* dan pengikut-pengikutnya, melalui penelitian secara teliti dan mengumpulkan pendapat para tentang perbedaan antara monyet dan kera perbedaan antara kera dan siamang, perbedaan siamang dan gorila, dan perbedaan gorila dengan manusia, baik secara fisiologi anatomis, maupun biologis. Akhirnya, P.P. Grasse menyimpulkan bahwa manusia dan kera berbeda. Dengan kata lain, pendapat Darwin, bahwa manusia merupakan keturunan kera itu tidak terbukti.

Akhirnya Al-Qur'anlah yang mampu memberikan jawaban atas pertanyaan, "dari manusia berasal?" "Bagaimana manusia diciptakan?" "Bagaimana ia berkembang sehingga memiliki daya dan keagungan rohani, yang membedakannya dengan makhluk lain?" Sejak 14 abad yang lalu, Al-Qur'an telah menegaskan bahwa manusia bukanlah keturunan kera. Manusia pertama (Adam) diciptakan dari tanah. Manusia terdiri atas materi dan roh, diciptakan dari tanah kemudian menjadi lumpur hitam yang diberi petunjuk lalu menjadi tanah kering seperti tembikar dan disempurnakan bentuknya. Allah meniupkan roh (ciptaan-Nya), maka terjadilah Adam. Firman Allah SWT. yang artinya :

“Dan (ingatlah), ketika Tuhanmu berfirman kepada malaikat “ sesungguhnya Aku menciptakan seorang manusia dari tanah liat kering (yang berasal) dari lumpur hitam yang diberi bentuk. Maka apabila aku telah menyempurnakan kejadiannya. Dan telah Ku-tiupkan ke dalamnya roh (ciptaan)-Ku, maka tunduklah kamu kepadanya dengan bersujud”. (Q.S. Al-Hijr : 28 dan 29)

Dengan penciptaan seperti itu, manusia dibedakan dari seluruh makhluk lainnya. Manusia memiliki kesamaan dengan hewan dalam sebagian besar karakteristik, dorongan emosi untuk mempertahankan diri, serta kemampuan untuk memahami dan belajar. Namun, ia berbeda dengan hewan dari karakteristik rohnya yang membuatnya cenderung mencari Allah dan menyembahnya.

Asal mula tubuh manusia adalah dari tanah. Hal ini disebutkan dalam firman Allah SWT, yang artinya :

“Dan Allah menumbuhkan kamu sebagai suatu tumbuhan dari tanah, dan kemudian di akan mengembalikan kamu kepadanya, Dia akan mengeluarkan kamu lagi sebagai suatu kelahiran baru.” (Q.S. Nuh : 17-18)

Didalam ayat di atas, disebutkan bahwa manusia berasal dari tanah, dan akan dikembalikan lagi ke tanah.

Manusia tersusun dari dua unsur, yakni tubuh kasar dan roh halus. Dengan tubuhnya, manusia dapat bergerak dan merasakan segala sesuatu. menurut Dr. M. Utsman Najati, kata *roh* dalam Al-Qur'an mempunyai berbagai arti. Arti roh yang terdapat dalam ayat Al-Qur'an yang menguraikan penciptaan Adam a.s, adalah roh ciptaan Allah yang membuat manusia siap untuk mempunyai sifat yang luhur dan mengikuti kebenaran. Ia adalah unsur tinggi yang di dalamnya terkandung kesiapan untuk merelasikan hal-hal yang paling luhur dan sifat-sifat yang paling suci, hal ini membuat manusia siap untuk merencanakan garis-garis yang harus diikutinya dan menyempurnakan kemanusiannya dengan bersumber pada nilai hakiki. Dengan demikian, terjawablah pertanyaan tentang

bagaimana manusia berkembang sehingga memiliki daya dan keagungan rohani yang membedakannya dengan makhluk lain.

Aspek-Aspek Manusia

Manusia terdiri atas dua aspek : tubuh dan jiwa. Tubuh yang tidak disertai jiwa bukanlah tubuh manusia, tetapi mauat. Adapun jiwa tanpa tubuh (juga bukan manusia, melainkan malaikat, setan, atau jin). Tubuh atau jasmani bersifat materi, dapat dilihat, diraba, dan dirasasehingga wujudnya nyata atau konkrit. Namun, tubuh dinilai lebih rendah dari pada jiwa justru karena sifat materinya itu, karena bila seseorang telah mati, tubuhnya membusuk, hancur dan akhirnya lenyap (tidak abadi), sedangkan, jiwa atau rohani sifatnya abadi. Begitu jiwa meninggalkan, tubuh ia akan kembali ke asalnya, yaitu Allah SWT. yang tidak pernah mengalami kehancuran. Secara umum, tubuh manusia dibagi atas tiga bagian : kepala, badan, dan anggota badan. Pada kepala terdapat telinga, mata, hidung, mulut serta otak yang dapat digunakan oleh manusia untuk berpikir. Badan manusia yang berongga di dalamnya terdapat jantung, paru-paru, hati, limpa, isi perut, ginjal yang merupakan semacam “pabrik” tempat mengolah kebutuhan tubuh. Adapun anggota badan terdiri atas tangan untuk memegang sesuatu yang diperlukan dan kaki yang berfungsi untuk membawa badan dan kepala.

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi memungkinkan manusia mengetahui berbagai hal mengenai tubuhnya, seperti sistem syaraf, sel darah merah dan sel darah putih, serta sel-sel lain yang jumlahnya jutaan. Namun, kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi tidak secara otomatis berhasil membuka tabir jiwa manusia. Jiwa yang tidak tampak oleh mata karena sifatnya yang abstrak, telah lama diketahui juga oleh manusia. Peristiwa orang mimpi yang

tubuhnya tergeletak di tempat tidur, tetapi perasaannya ke mana-mana, menunjukkan bahwa jiwanyalah yang bepergian. Demikian juga pada manusia yang mati karena kehilangan jiwa. Ia tidak dapat berjalan, bercakap-cakap, makan, minum, dan sebagainya. Hal-hal yang menyangkut kejiwaan inilah yang akan banyak dibicarakan pada bagian ini. Masalah cinta kasih, penderitaan, kindness, tanggung jawab, dan sebagainya, banyak bersangkutan dengan masalah jiwa manusia.

C. Teori Evolusi menurut perspektif barat sekuler

Pemikiran-pemikiran evolusi tentang nenek moyang bersama dan transmutasi spesies telah ada paling tidak sejak abad ke-6 SM ketika hal ini dijelaskan secara rinci oleh seorang filsuf Yunani, **Anaximander**. Beberapa orang dengan pemikiran yang sama meliputi **Empedocles**, **Lucretius**, biologiawan Arab **Al Jahiz**, filsuf Persia **Ibnu Miskawaih**, **Ikhwan As-Shafa**, dan filsuf Cina **Zhuangzi**.

Pada masa pra Darwin, teori evolusi organik memperkirakan bahwa sejak kehidupan muncul di bumi, telah terjadi suatu proses berkesinambungan. Organisme yang hidup berasal dari bentuk-bentuk sebelumnya. Variasi-variasi yang besar adalah sebagai hasil respons makhluk hidup terhadap perubahan lingkungan. Respons ini berupa perubahan struktur dan fungsi tubuh makhluk individu hidup yang kemudian dilanjutkan kepada generasi selanjutnya melalui suatu proses pewarisan sifat yang telah mengalami perubahan itu.

Masa praDarwin dapat digolongkan menjadi dua tahapan, yaitu :

- a. *Masa Fiksisme* (Aristoteles, Plato, Leeuwenhoek, Cuvier, Linnaeus, Buffon, Hooke, dll), yang pemikirannya memiliki kedekatan dengan mitos, sehingga pendapatnya juga lebih bercorak sebagai fiksi ilmiah. Konsep-konsep utama yang berkembang masa itu :
 - Sampai abad ke-18, paham yang berkembang adalah bahwa organisme adalah sebagai ciptaan Tuhan, sehingga dalam bahasan Biologi tentang

“Asal-usul Kehidupan” disebut sebagai Teori Ciptaan Khusus (*The Special Creation*). Leewenhoek, meskipun dengan eksperimen yang menemukan *Paraemecium* dari potongan jerami yang direndam air selama 7 hari (sesuai dengan kitab Kejadian, saat Tuhan menciptakan dunia dan seisinya), menyatakan bahwa kehidupan berasal dari benda tak hidup, yang disebutnya dengan konsep *generatio spontanea*.

- Adanya kelainan atau cacat tubuh adalah sebagai kutukan, jadi bukanlah sebagai perubahan makhluk hidup yang dilatarbelakangi oleh seleksi alam maupun perubahan genetik (mutasi) makhluk hidup.

Pemikiran yang mulai berbeda dengan teori Ciptaan Khusus kemudian mulai digagas oleh beberapa orang ahli, seperti :

- **Linnaeus** mengelompokkan organisme berdasarkan kesamaan alat reproduksinya, dan manusia dimasukkan ke dalam kelompok kera (kera = Primata tidak berekor, monyet = Primata berekor).
- **Buffon** menyatakan bahwa hewan-hewan bersifat plastis. Variasi-variasi kecil yang dihasilkan lingkungan akan berakumulasi membentuk perbedaan-perbedaan yang lebih besar. Setiap hewan pada jalur tipe-tipe hewan, berubah dari moyangnya yang keadaanya lebih sederhana.
- **Cuvier** menyatakan bahwa tipe-tipe baru spesies terbentuk setelah ada bencana. Setiap spesies tercipta secara terpisah. Georges Cuvier percaya bahwa bencana dan malapetaka yang terjadi di muka bumi akan mengikis kehidupan yang ada. Dalam setiap peristiwa bencana, selalu ada satu wilayah yang terhindar dari bencana. Kehidupan yang tersisa akan menyebar ke wilayah-wilayah lainnya. Cuvier meyakini bahwa ada kehidupan yang telah mengalami kepunahan.

2. *Masa Adaptasi & Transformasi* (Hutton, Malthus, Lamarck, Lyell dll.)

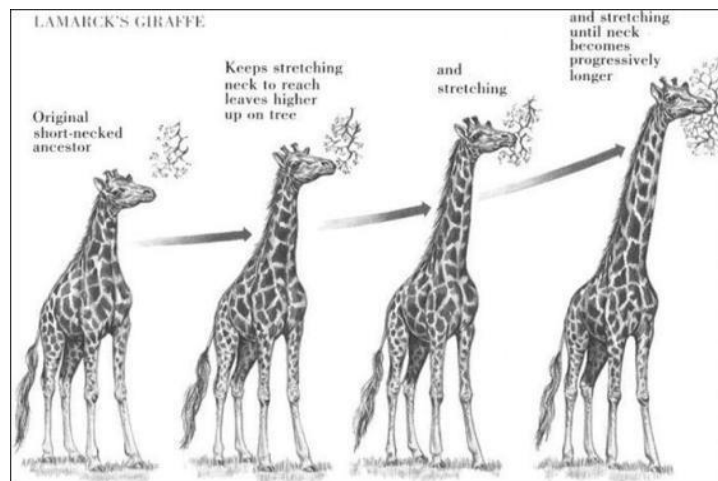
Konsep-konsep yang berkembang pada tahapan ini adalah :

Semua ahli yang menyatakan teori evolusi masa ini didasarkan atas adanya perbedaan antara makhluk satu dengan lainnya. **Erasmus Darwin**, yang tiada lain kakek Charles Robert Darwin, dalam bukunya “*Zoonomia*” menyatakan bahwa

kehidupan itu berasal dari asal mula yang sama. Respons fungsional yang dimiliki oleh individu makhluk hidup akan diwariskan kepada keturunannya.

- **Lamarck**

Lamarck, adalah biologawan Perancis yang dikenal karena pendapatnya dalam teori tentang evolusi kehidupan. Dia menyatakan bahwa perbedaan- antar individu terjadi karena kebiasaan atau latihan-latihan yang dilakukan individu tersebut. Hal yang diperoleh melalui latihan dapat diturunkan kepada anaknya. Contoh yang dikemukakan adalah leher jerapah. Hewan ini memiliki leher yang panjang karena mulut di kepala selalu digunakan untuk meraih daun-daun pakannya yang semakin tinggi.



Lamarck dikenal sebagai penggagas suatu bentuk teori evolusi kehidupan, yang kemudian dikenal sebagai **Lamarckisme**. Ia percaya akan adanya perubahan linear pada makhluk hidup dari bentuk sederhana menuju bentuk yang lebih canggih. Walaupun demikian, ia mendasarkan pada pendapat yang telah berlaku sejak masa kuno yang menyatakan bahwa setiap spesies sudah ada sejak penciptaan kehidupan. Pemikiran ini bertentangan dengan banyak pendapat sarjana Perancis sezamannya, yang lebih condong pada perkembangan spesies. Ketika itu dinyatakan bahwa spesies-spesies terbentuk dalam perkembangan proses kehidupan, tidak "langsung jadi" begitu saja. Perubahan yang terjadi pada spesies adalah sebagai akibat respons makhluk hidup terhadap lingkungan (adaptasi). Anggota tubuh yang terlatih akan menguat, sementara yang tidak terpakai akan melemah dan tereduksi. Hasil adaptasi (sedikit demi sedikit) ini lalu diwariskan secara turun-temurun kepada anaknya dan berlanjut sepanjang masa.

Semenjak Charles Darwin dan Alfred Wallace mengemukakan teori mereka, teori Lamarck sering kali disitir untuk menyanggah pendapat Darwinisme tentang seleksi alam. Pertentangan pemikiran ini baru tuntas setelah cabang ilmu Genetika semakin dikenal orang pada abad ke-20. Konsep-konsep genetika banyak memberi dukungan pada Darwinisme.

Para pendukung materialisme dialektika, pemikiran yang berkembang pesat di akhir abad ke-19, menganggap Lamarckisme sesuai dengan ideologi mereka, dan melahirkan Neo-Lamarckisme. Kaum ini menolak teori evolusi Darwin, mengadopsi Lamarckisme, dan bahkan mempraktekannya dalam bidang pertanian di negara-negara komunis. Vernalisasi (perlakuan suhu rendah) terhadap benih gandum dianggap dapat "melatih" tanaman sehingga tahan menghadapi musim dingin. Pendapat ini dipercaya karena hasil penelitian Ivan Mitschurin, seorang pemulia tanaman Rusia, menunjukkan hal itu.

- **Charles Lyell**

Charles Lyell mengemukakan adanya evolusi geologi. Teori ini berbicara mengenai perubahan ketinggian tanah, sedimen yang dibawa oleh air, perubahan partikel dan perubahan iklim. Dalam teori ini, organisme-organisme yang ada dianggap sebagai turunan hasil modifikasi spesies-spesies lain yang hidup di masa geologi sebelumnya.

- **Malthus**

Malthus menyatakan bahwa kenaikan produksi bahan makanan seperti fungsi deret hitung, sedangkan kenaikan jumlah penduduk (populasi) menurut fungsideret ukur. Karena pertumbuhan makanan tidak sebanding dengan pertumbuhan populasi, maka setiap individu makhluk hidup harus berjuang untuk mendapatkan makan sebagai prasyarat untuk mempertahankan hidup. (Anonim: 2010)

Pada masa ini masyarakat ilmiah lebih komunikatif, dibandingkan pd masa sebelumnya, sehingga para ahli bisa melihat keterkaitan antara ilmu satu dengan lainnya. Penemuan oleh Hugo de Vries dan lainnya pada awal 1900-an memberikan dorongan terhadap pemahaman bagaimana variasi terjadi pada sifat tumbuhan dan hewan. Seleksi alam menggunakan variasi tersebut untuk membentuk keanekaragaman sifat-sifat adaptasi yang terpantau pada organisme

hidup. Walaupun Hugo de Vries dan genetikawan pada awalnya sangat kritis terhadap teori evolusi, penemuan kembali genetika dan riset selanjutnya pada akhirnya memberikan dasar yang kuat terhadap evolusi, bahkan lebih meyakinkan daripada ketika teori ini pertama kali diajukan.

Dokumentasi fakta-fakta terjadinya evolusi dilakukan oleh cabang biologi yang dinamakan biologi evolusioner. Cabang ini juga mengembangkan dan menguji teori-teori yang menjelaskan penyebab evolusi. Kajian catatan fosil dan keanekaragaman hayati organisme-organisme hidup telah meyakinkan para ilmuwan pada pertengahan abad ke-19 bahwa spesies berubah dari waktu ke waktu. Namun, mekanisme yang mendorong perubahan ini tetap tidaklah jelas sampai pada publikasi tahun 1859 oleh Charles Darwin, *On the Origin of Species* yang menjelaskan dengan detail teori evolusi melalui seleksi alam. Karya Darwin dengan segera diikuti oleh penerimaan teori evolusi dalam komunitas ilmiah.

Pada tahun 1930, teori seleksi alam Darwin digabungkan dengan teori pewarisan Mendel, membentuk sintesis evolusi modern, yang menghubungkan *satuan* evolusi (gen) dengan *mekanisme* evolusi (seleksi alam). Kekuatan penjelasan dan prediksi teori ini mendorong riset yang secara terus menerus menimbulkan pertanyaan baru, di mana hal ini telah menjadi prinsip pusat biologi modern yang memberikan penjelasan secara lebih menyeluruh tentang keanekaragaman hayati di bumi.

Kontradiksi antara teori evolusi Darwin melalui seleksi alam dengan karya Mendel disatukan pada tahun 1920-an dan 1930-an oleh biologawan evolusi seperti J.B.S. Haldane, Sewall Wright, dan terutama Ronald Fisher, yang menyusun dasar-dasar genetika populasi. Hasilnya adalah kombinasi evolusi melalui seleksi alam dengan pewarisan Mendel menjadi sintesis evolusi modern.

Bukan hanya Genetika dan Evolusi saja yang saling menunjang, tetapi semua cabang ilmu biologi dapat menjelaskan fenomena evolusi. Pernyataan ini didukung oleh sebagian besar ahli biologi pada waktu itu. **Theodozius Dobzhansky**, ahli genetika, berjasa merangkum begitu banyak fenomena evolusi dari berbagai macam disiplin biologi. Ahli-ahli lain yang terlibat dalam pengembangan teori evolusi pasca Darwin antara lain : **Morgan**, yang melakukan pengamatan terhadap fenomena kerja gen pada lalat buah (*Drosophila*

melanogaster); **Mayr & Darlington**, seorang ahli taksonomi sistematik & zoogeografi burung, menemukan fenomena evolusi yang baru; **Simpson**, ahli Paleontologi.

D. Pemisahan Pangea, Terjadinya Kepulauan Indonesia Dan Bukti Biografi

1. Pemisahan Pangea menjadi Laurasia dan Gondwana

Sekitar 250 juta tahun yang lalu (jtl), tujuh benua yang ada pada saat ini (Asia, Australia, Afrika, Eropa, Amerika Utara, Amerika Selatan, dan Antartika) berada dalam satu benua besar yang disebut **Pangea** atau **Pangaea** dan dikelilingi oleh satu samudera besar yang disebut **Samudera Phantalassa**. Kata “Pangea” berasal dari bahasa Yunani Kuno *pan* (semua, seluruh) dan *gaia* (daratan, bumi).

Kata “Pangea” muncul pertama kali dalam sebuah buku berjudul *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (Asal Mula Benua dan Samudera) edisi tahun 1920 oleh Alfred Wegner, seorang ilmuwan geofisika asal Jerman. Dalam teorinya tentang “Pergeseran / Perpindahan Benua” (Continental Drift), beliau berpendapat bahwa pada awalnya semua benua yang ada saat ini berasal dari sebuah benua yang sangat besar, yang dikenal dengan **Super Continent** (Benua Super).

Namun, adanya arus konveksi di bagian mantel menyebabkan lapisan kerak bumi di atasnya bergerak secara perlahan. Hal ini menyebabkan bagian kerak tersebut terpecah-pecah dan membentuk suatu lempeng atau kerak yang lebih kecil dan menyebabkan Pangea terpisah menjadi beberapa bagian, seperti Laurasia dan Gondwana. Pergerakan lempeng atau kerak bumi juga menyebabkan

gempa bumi; pembentukan gunung berapi dan/atau pegunungan; dan pembentukan kepulauan

Proses pemecahan Pangea menjadi Laurasia dan Gondwana dimulai sekitar 200 juta sampai sekitar 135 juta tahun yang lalu. Para ilmuwan percaya, bahwa pecahnya Pangea disebabkan oleh adanya arus konveksi di mantel yang menggerakkan kerak bumi di atasnya dan akhirnya memisahkan Laurasia dan Gondwana. Laurasia terdiri dari Benua Amerika Utara, Asia dan Eropa, serta pulau Greenland yang ada saat ini. Sementara, Gondwana terdiri dari Benua Amerika Selatan, Australia, Afrika, Antartika, serta India dan pulau Madagaskar yang ada saat ini.

2. Sejarah Terjadinya Kepulauan Indonesia

Ada beberapa teori tentang terbentuknya Kepulauan Indonesia, yaitu :

1) Indonesia muncul dari dasar laut (1960-an)

Indonesia berasal dari paparan Sunda yang bersatu dengan Asia dan paparan Sahul yang bersatu dengan Australia. Teori ini ditunjang oleh adanya jenis Flora/Fauna Asia dan Australia (Sudargo, 2019). Secara geologi, Paparan Sunda adalah landas kontinen perpanjangan lempeng benua Eurasia di Asia Tenggara. Massa daratan utama antara lain Semenanjung Malaya, Sumatera, Jawa, Madura, Bali, dan pulau-pulau kecil di sekitarnya dan laut di sekitarnya, seperti Laut Jawa, Selat Malaka, Selat Karimata, Teluk Siam dan bagian selatan Laut Cina Selatan.

Bukti bahwa pulau-pulau Sunda Besar pernah bersatu dengan benua Asia adalah sebaran jenis mamalia Asia seperti beberapa jenis keras, gajah, macan dan harimau yang ditemukan di benua Asia,

Sumatera, Jawa, dan Bali; serta adanya Orangutan patut di Sumatera dan Kalimantan. Paparan ini terbentuk dampak aktivitas vulkanik beribu-ribu tahun dan erosi massa benua Asia, serta terbentuknya konsolidasi runtuh batu di pesisir seiring naik dan turunnya permukaan laut. Bukti pernah adanya sistem sungai yang mempersatukan pulau-pulau Sunda Besar dan benua Asia adalah ditemukannya berbagai spesies ikan air tawar Asia Tenggara di bermacam pulau yang sekarang terpisah oleh laut, misalnya ikan mas, gurame, dan ikan gabus. (Anonim, 2019)

Paparan Sahul adalah bagian dari lempeng landas kontinen benua Sahul (benua Australia-Papua) yang terletak di lepas pantai utara Australia dan lautan selatan pulau Papua. Paparan Sahul adalah dataran terbuka di atas permukaan laut.

Bukti tepi pantai pada masa ini ditandai dengan lokasi yang sekarang terletak pada kedalaman antara 100 sampai 140 meter di bawah permukaan laut. Paparan Sahul juga dinamakan Paparan Arafura, membentuk jembatan daratan antara Australia dengan pulau Papua, serta Kepulauan Aru. Kawasan ini adalah habitat penyebaran marsupial (hewan mamalia berkantung), burung darat yang tak mampu terbang seperti emu dan kasuari, serta ikan air tawar yang sama jenisnya.

Garis Lydekker adalah garis biogeografi yang ditarik di tepi perbatasan Paparan Sahul dimana landasan laut turun curam di kawasan biogeografi Wallacea. Wallacea terletak antara celah yang terbentuk antara Paparan Sahul dengan Paparan Sunda, bagian dari paparan benua Asia Tenggara. (Anonim, 2019)

2. Indonesia sebagian berasal dari Gondwana dan sebagian berasal dari Laurasia. Sulawesi merupakan daerah peralihan (1980-an)

Secara zoogeografi, Indonesia dipisahkan oleh garis Wallace, garis ini memisahkan bagian barat (Oriental region; Indo-malayan sub region) dan bagian timur (Australian region; Austro-malayan subregion). garis ini terletak antara pulau Bali dan pulau Lombok di selatan dan antara pulau Borneo dan pulau Sulawesi di Utara.

a. Rodinia (1200 Mya).

Pada 1200 juta tahun lalu, seluruh daratan yang ada di bumi tergabung menjadi super benua yang dinamakan dengan Rodinia. Rodinia berada pada Era Neoproterozoic. Rodinia tersusun dari beberapa *Craton*; Craton Amerika utara, pada bagian tenggara craton Eropa Timur, craton Amazonia dan craton Afrika barat. Pada bagian selatan, Rio plato dan San Fransisco, sedangkan pada bagian barat daya; craton Kongo dan craton Kalahari. Pada bagian timur laut; craton Australia, craton India dan craton Antartica. Sedangkan untuk craton Siberia, craton china utara dan selatan, para ahli memiliki perbedaan pendapat untuk rekonstruksi craton ini.

b. Gondwana dan Laurasia (650 Mya)

Karena pergerakan kerak bumi, Rodinia terpisah menjadi dua super benua yaitu Gondwana dan laurasia. Bagian-bagian yang akan membentuk Indonesia termasuk ke dalam super benua Gondwana, juga Australia. Pada masa ini pulau Papua sudah terpisah dari Australia. Sedangkan pulau-pulau lainnya dari Indonesia masih tergabung dalam craton China Utara.

c. Pangea (306 Mya)

Pangea adalah super benua yang terbentuk dari bersatunya Gondwana dan Laurasia. pada era Paleozoic, era setelah Neoproterozoic. Saya ingin membahas dalam tulisan terpisah mengenai perbedaan Rodinia dan Pangea. Sekitar tahun ini beberapa pulau dari Indonesia sudah mulai terpisah dari craton China Utara, para ahli menyebutnya dengan Malaya. Pada era ini craton China Utara dan craton China Selatan masih terpisah.

d. Periode Cretaceous (94 Mya)

Periode Cretaceous termasuk ke dalam Era Mesozoic, pada periode ini China utara dan China selatan sudah menyatu dan mulai membentuk Benua Asia. Begitu juga dengan Malaya, juga bersatu ke dalam Benua ini.

e. Periode Tertiary (50 Mya)

Periode ini juga termasuk ke dalam Era Cenozoic, pada periode ini Indonesia mulai terbentuk. Pulau Sumatra, Jawa dan Borneo masih terpisah jauh dengan pulau Papua. Bagaimana dengan Sulawesi, berdasarkan pendapat para ahli, Pulau Sulawesi terbentuk dari pulau-pulau kecil bagian dari daratan Asia, daratan Australia dan pulau-pulau kecil yang awalnya berada pada samudra Pasifik, yang disebabkan oleh pergerakan kulit bumi, pulau-pulau ini kemudian membentuk Sulawesi. Pulau-pulau cikal bakal dari kepulauan Indonesia mulai terbentuk sekitar 50 juta tahun lalu (Mya). Pada Periode Quaternary (sekitar 2 juta tahun yang lalu- sekarang) itulah proses utama pembentukan kepulauan Indonesia. Asal dari pulau-pulau yang terdapat di Indonesia berbeda-beda. Pulau Papua yang berasal dari craton Australia dahulunya, dan telah terbentuk beberapa juta tahun lalu, sebelum terbentuknya pulau lain di Indonesia. Pulau Sumatra, Jawa dan

Borneo yang merupakan bagian dari craton China Utara, yang kemudian akibat pergerakan kulit bumi membentuk daratan Asia, dan pada Periode Tertiary, pulau Sumatra, Jawa dan Borneo terpisah. Sedangkan pulau unik Sulawesi yang terbentuk dari gabungan beberapa daratan Asia, Australia dan beberapa pulau dari Samudra Pasifik, menyebabkan pulau ini memiliki fauna yang unik dan khas. (Gunawan, 2014)

3. Biogeografi

Biogeografi merupakan ilmu yang mempelajari tentang pola distribusi organisme seiring dengan perubahan dan waktu. Studi tentang penyebaran spesies menunjukkan, spesies-spesies berasal dari suatu tempat, namun selanjutnya menyebar ke berbagai daerah. Organisme tersebut kemudian mengadakan diferensiasi menjadi subspecies baru dan spesies yang cocok terhadap daerah yang ditempatinya. Terdapat beberapa prinsip dasar yang digunakan untuk menjelaskan penyebaran organisme tersebut, khususnya hewan dan tumbuhan, yaitu:

1. Evolusi

Berkaitan dengan pemisahan Pangea, teori pergeseran benua (Teori Wegener) dan perubahan pola benua. Menurut teori "Apungan" dan "Pergeseran Benua" yang disampaikan oleh Alfred Lothar Wegener (1880-1930), kurang lebih 265 juta tahun yang lalu, bumi hanya terdiri atas satu benua besar yang disebut "*Pangaea*" dan satu samudera besar "*Panthalassa*", karena adanya tenaga endogen benua besar itu terpecah membentuk Benua *Eurasia* di bagian utara (Amerika Utara, Eropa, Asia bagian utara, dan Asia bagian tengah) dan Gondwana di bagian selatan (Amerika Selatan, Afrika, India, Australia, dan Antartika). Adanya pergeseran benua yang terus berlangsung akibat tenaga endogen, kurang lebih 20-50 juta tahun yang lalu Afrika dan Asia selatan bergabung dengan Eurasia, sedang Australia memisahkan diri dengan Antartika.

Proses pemisahan benua-benua tersebut menyebabkan terpisah pula flora dan fauna saat itu. Sebagai contoh, para ahli paleontologi telah

menemukan fosil reptilia masa Trias di Ghana (Afrika Barat) yang sama persis dengan yang ditemukan di Brazil. Kedua bagian dunia ini, sekarang dipisahkan oleh lautan sepanjang 3000 km, merupakan daratan yang menyatu selama awal zaman Mesozoikum. Pergeseran benua juga menjelaskan banyak mengenai penyebaran organisme saat ini, seperti mengapa fauna dan flora Australia jauh berbeda dengan fauna dan flora yang berasal dari bagian dunia yang lain. Keanekaragaman marsupial (mamalia berkantung) yang sangat tinggi, yang menjadi peran ekologi analog dengan peran ekologis yang diisi oleh mamalia berplasenta pada benua yang lain (Campbell, 2000)

2. Perubahan Iklim

Iklim merupakan faktor utama yang menentukan tipet tanah maupun spesies tumbuhan yang tumbuh di daerah tersebut. Sebaliknya, jenis tumbuhan yang ada menentukan jenis hewan dan mikroorganisme yang akan menghuni daerah tersebut. Pada dasarnya iklim tergantung pada matahari. Matahari bertanggung jawab tidak hanya untuk intensitas cahaya yang tersedia untuk proses fotosintesis, tetapi juga untuk temperatur umumnya.

Suhu dan kelembapan udara berpengaruh terhadap proses perkembangan fisik flora dan fauna, sedangkan sinar matahari sangat dibutuhkan oleh tanaman untuk fotosintesis dan metabolisme tubuh bagi beberapa jenis hewan. Angin sangat berperan dalam proses penyerbukan atau bahkan menerbangkan beberapa biji-bijian sehingga berpengaruh langsung terhadap persebaran flora. Kondisi iklim yang berbeda menyebabkan flora dan fauna berbeda pula. Di daerah tropis sangat kaya akan keanekaragaman flora dan fauna, karena pada daerah ini cukup mendapatkan sinar matahari dan hujan, keadaan ini berbeda dengan di daerah gurun. Daerah gurun beriklim kering dan panas, curah hujan sangat sedikit menyebabkan daerah ini sangat minim jenis flora dan faunanya. Flora dan fauna yang hidup di daerah gurun mempunyai daya adaptasi yang khusus agar mampu hidup di daerah tersebut.

3. Daratan

Daratan memiliki peranan yang sangat penting bagi penyebaran hewan dan tumbuhan. Pola distribusi hewan dan tumbuhan sangat dipengaruhi oleh kondisi benua di masa lampau. Sebagai contoh, pada masa awal terbentuknya

daratan di Indonesia. Wilayah Indonesia bagian barat yang disebut juga Dataran Sunda masih menyatu dengan Benua Asia, sedangkan Indonesia bagian timur yang disebut juga Dataran Sahul menyatu dengan Benua Australia. Dataran Sunda dan Dataran Sahul juga masih berupa daratan yang belum dipisahkan oleh laut dan selat. Keadaan tersebut menyebabkan keanekaragaman flora dan fauna di Indonesia bagian Barat seperti Jawa, Bali, Kalimantan, dan Sumatera pada umumnya menunjukkan kemiripan dengan flora di Benua Asia.

Begitu pula dengan flora dan fauna di Indonesia bagian Timur seperti Irian Jaya dan pulau-pulau disekitarnya pada umumnya mempunyai kemiripan dengan flora dan fauna di benua Australia. Jadi Indonesia pada masa itu menjadi jembatan penghubung persebaran hewan dari Asia dan Australia. Kemudian, pada akhir zaman es, suhu permukaan bumi naik sehingga permukaan air laut naik kembali. Naiknya permukaan air laut mengakibatkan Jawa terpisah dengan Benua Asia, kemudian terpisah dari Kalimantan dan terakhir dari Sumatera. Selanjutnya Sumatera terpisah dari Kalimantan kemudian dari Semenanjung Malaka dan terakhir Kalimantan terpisah dari Semenanjung Malaka.

LATIHAN

- 1) Beri alasan, mengapa untuk menempatkan pandangan Darwinian dalam suatu perspektif (sudut pandang), kita harus membandingkannya dengan ide-ide yang muncul sebelumnya?
- 2) Jelaskan, di mana letak perbedaan teori katastrofisme dari Cuvier dengan teori gradualisme dari Hutton!
- 3) Dengan mengacu kepada konsep genetika modern, coba Anda temukan di mana letak kelemahan teori evolusi Lamarck!

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2020). *Evolusi Manusia*. Diunduh tanggal 10 Desember 2020 dari http://id.wikipedia.org/wiki/Evolusi_Manusia.
- Campbell, Neil A. Jane B. Reece, Lawrence G. Mitchell. 2003. *Biologi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Futuyma, Douglas J. (2005). *Evolution*. Massachusetts, USA : Sinauer Associates, Inc Publisher.
- Prawoto, Sudjoko, Siti Mariyam. (1987). *Evolusi*. Jakarta : Universitas Terbuka, Departemen pendidikan dan Kebudayaan.

BAB III

BUKTI-BUKTI EVOLUSI

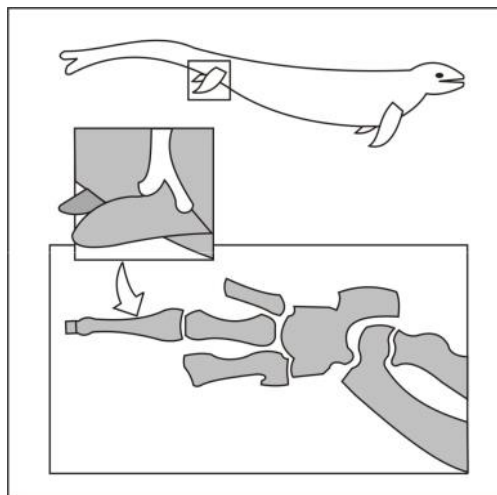
Evolusi biologi meninggalkan tanda-tanda yang dapat diamati, yang merupakan bukti pengaruh pada kehidupan di masa lalu dan sekarang. Pada bagian ini, kita akan mencoba membahas secara ringkas beberapa tanda-tanda evolusi. Pembahasan yang mendalam akan Anda temukan pada modul-modul berikutnya.

A. Bukti dari Paleontologi

Paleontologi adalah ilmu yang mempelajari fosil. Fosil adalah replika atau peningkatan bersejarah organisme dari masa lalu, yang mengalami mineralisasi di dalam batuan. Kita tahu bahwa fosil telah menimbulkan keingintahuan manusia paling tidak sejak zaman Yunani kuno. Kecuali beberapa saja, fosil bukan merupakan sisa-sisa organisasi yang masih hidup sekarang di bumi ini. Lalu bagaimana dapat kita jelaskan adanya makhluk tersebut? Kadang-kadang dikatakan adanya serangkaian penciptaan khusus yang diikuti bencana alam yang memusnahkan organisme di seluruh dunia.

Suksesi bentuk fosil sesuai dengan apa yang diketahui dari bukti lain. Sebagai contoh, bukti dari cabang biokimia, biologi molekuler, dan biologi sel menempatkan prokariota sebagai nenek moyang semua kehidupan dan memperkirakan bahwa bakteri mendahului semua kehidupan eukariota dalam catatan fosil. Memang, fosil tertua yang diketahui adalah prokariota. Contoh lain penampakan kronologis dari kelas-kelas hewan vertebrata yang berbeda-beda dalam catatan fosil. Fosil ikan adalah yang paling tua dari semua vertebrata lain, disusul kemudian oleh amfibia, diikuti oleh reptilia, kemudian burung dan mamalia. Urutan ini sesuai dengan sejarah keturunan vertebrata sebagaimana diungkapkan oleh banyak jenis bukti yang lain. Sebaliknya, ide bahwa semua spesies diciptakan satu demi satu pada waktu yang hampir sama seharusnya kelas vertebrata muncul pada catatan fosil dalam bebatuan dengan umur yang sama, ternyata berlawanan dengan apa yang sesungguhnya diamati oleh para ahli paleontologi.

Pandangan Darwinian mengenai kehidupan juga memperkirakan bahwa transisi evolusioner harus meninggalkan tanda-tanda dalam catatan fosil. Para ahli paleontologi telah menemukan banyak bentuk transisi yang menghubungkan fosil yang lebih tua dengan spesies modern. Sebagai contoh, serangkaian fosil mendokumentasikan perubahan bentuk dan ukuran tengkorak yang terjadi ketika mamalia berevolusi dari reptilia. Hampir setiap tahun, ahli paleontologi menemukan kaitan atau hubungan penting lainnya antara bentuk modern dengan nenek moyangnya. Pada beberapa tahun belakangan ini misalnya, para peneliti telah menemukan paus yang telah menjadi fosil yang menghubungkan mamalia air ini dengan leluhurnya yang hidup di daratan. Coba Anda cermati gambar di bawah ini!



Fosil peralihan (transisi) menghubungkan masa lalu dan masa sekarang. Paus berkembang dari nenek moyang yang di darat, suatu transisi evolusioner yang meninggalkan banyak tanda, termasuk bukti-bukti fosil. Para ahli paleontologi yang melakukan penggalian di Mesir dan Pakistan berhasil mengidentifikasi paus yang sudah punah yang memiliki tungkai belakang. Ditunjukkan di sini adalah tulang kaki Basilosaurus yang sudah menjadi fosil, salah satu dari paus kuno itu. Paus tersebut sudah menjadi hewan air yang tidak lagi menggunakan kakinya untuk menyokong badannya dan untuk berjalan. Tulang kaki fosil paus yang lebih tua yang bernama Ambulocetus lebih kuat dan kokoh. Ambulocetus mungkin merupakan hewan amfibia, yang hidup di darat dan di air.

B. Bukti dari Taksonomi

Taksonomi adalah cabang dari biologi yang berhubungan dengan penamaan dan klasifikasi spesies yang didasarkan pada skema yang lebih formal. Skema tersebut terdiri dari tingkatan klasifikasi yang bermacam-macam, setiap tingkatan lebih luas cakupannya dibandingkan dengan tingkatan yang di bawahnya.

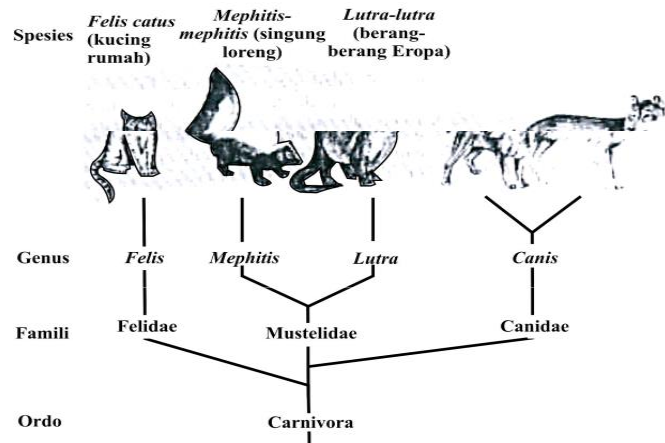
Sistem taksonomi ini dipelopori oleh Carolus Linnaeus seorang ahli botani Swedia. Beliau bekerja dengan mencari keseragaman di antara keanekaragaman. Tujuan utama dari Linnaeus adalah "untuk kemuliaan dan keagungan Tuhan". Tetapi ironisnya, seabad kemudian sistem taksonominya ternyata menjadi titik fokus pendapat Darwin mengenai evolusi.

Linnaeus memakai suatu sistem untuk pengelompokan spesies yang mirip ke dalam jenjang suatu kategori yang semakin umum. Sebagai contoh, spesies yang mirip dikelompokkan ke dalam genus yang sama, genus yang mirip dikelompokkan ke dalam famili yang sama dan selanjutnya.

Kingdom > filum > kelas > ordo > famili > genus > spesies.

Bagi para ahli evolusi, skema Linnaeus tersebut merefleksikan geneologi bercabang dari pohon kehidupan, dengan organisme pada level taksonomik yang berbeda dihubungkan melalui turunan dari nenek moyang yang sama. Spesies yang memiliki sifat dan ciri yang sama, misalnya singa dan harimau ternyata memiliki hubungan yang erat dan ternyata garis turunan nenek moyangnya sama. Jika kita bisa mengakui singa dan harimau lebih erat hubungan kekerabatannya dibandingkan antara singa dan kambing, maka kita telah mengakui bahwa evolusi telah meninggalkan tanda dalam bentuk derajat kekerabatan yang berbeda di antara spesies modern.

Taksonomi merupakan penemuan manusia dengan sendirinya taksonomi tidak dapat mengukuhkan keturunan yang sama. Akan tetapi, bersama dengan bukti-bukti yang lain, implikasi taksonomi pada evolusi tidak mungkin keliru. Analisis genetik misalnya, membeberkan bahwa spesies singa dan harimau merupakan kerabat yang sangat dekat dengan latar belakang hereditas yang mirip kekerabatan dari genus yang sama untuk suatu ordo/ lebih dekat jika dibandingkan dengan ordo yang berbeda.



Hubungan antara klasifikasi dan filogeni. Pohon evolusi bercabang menunjukkan jenjang taksa. Di sini kita melihat kemungkinan kedekatan geneologis di antara beberapa taksa yang ada di bawah ordo karnivora, yang merupakan cabang dari kelas mamalia (Campbell, 2003).

C. Bukti dari Anatomi Perbandingan

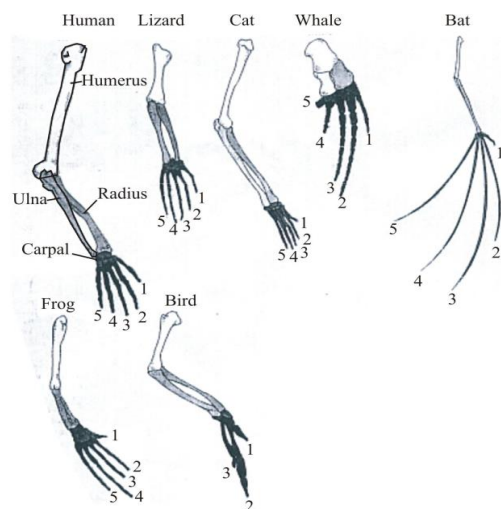
Pewarisan dengan modifikasi sangat jelas terlihat pada kemiripan anatomi antara spesies yang dikelompokkan ke dalam kategori taksonomi yang sama. Sebagai contoh elemen kerangka yang sama menyusun tungkai depan manusia, kadal, kucing, paus, kelelawar, katak dan burung. Meskipun tungkai tersebut memiliki fungsi yang sangat berbeda.

Tentunya, cara terbaik untuk membangun infrastruktur sayap kelelawar bukan merupakan cara terbaik untuk membangun sirip paus. Perbedaan anatomi seperti itu tidak masuk akal jika struktur tersebut secara unik direkayasa dan tidak saling berhubungan. Suatu penjelasan yang lebih mungkin adalah kemiripan tungkai depan ini akibat diturunkannya semua vertebrata dari suatu leluhur yang sama. Tungkai depan, sirip, dan lengan dari vertebrata yang berbeda adalah variasi dari pokok struktur dasar yang sama. Akibat fungsi yang berbeda pada setiap spesies, maka struktur dasarnya dimodifikasi.

Kemiripan dalam ciri khusus yang dihasilkan dari leluhur yang sama disebut *homologi*, dan tanda-tanda anatomis seperti itu disebut dengan struktur *homolog*. Anatomi perbandingan konsisten dengan bukti-bukti lain dalam memberikan bukti bahwa evolusi adalah suatu proses pemodelan ulang di mana struktur leluhur yang berfungsi dalam suatu kapasitas dimodifikasi ketika mereka mengemban fungsi baru.

Beberapa struktur *homolog* yang lebih menarik adalah organ vestigial (organ sisa yang tidak berguna lagi), yaitu struktur dengan arti penting yang kecil, jika ada, bagi organisme tersebut. Organ vestigial merupakan sisa-sisa historis dari struktur yang memiliki fungsi penting pada leluhurnya. Sebagai contoh, paus masa kini tidak memiliki tungkai belakang tetapi memiliki sisa tulang pelvis dari kaki leluhur daratnya yang berkaki empat.

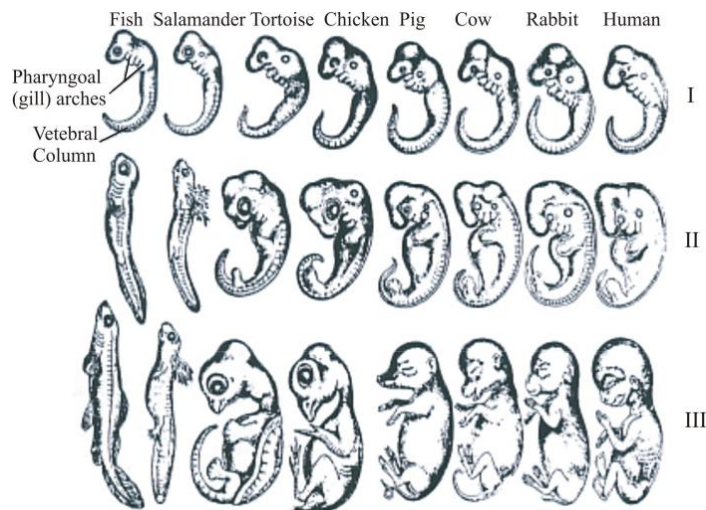
Pada tingkat dasar, organ vestigial tampaknya bisa mendukung konsep "*use* dan *disuse*" yang dikemukakan oleh Lamarck, tetapi sebagaimana telah kita bahas, pengaruh penggunaan struktur tubuh oleh suatu individu tidak diwariskan ke keturunan individu tersebut. Sebaliknya, organ vestigial merupakan bukti evolusi melalui seleksi alam. Tubuh akan merugi harus terus menyediakan darah, zat-zat makanan, dan ruang bagi organ yang tidak lagi memiliki fungsi penting, maka seleksi alam cenderung menguntungkan individu yang memiliki organ tersebut dalam bentuk tereduksi, dengan demikian cenderung akan menghilangkan struktur yang tidak berfungsi lagi. Akhirnya perubahan struktur (seperti adaptasi ekor sebagai suatu struktur pendorong utama dan reduksi tungkai belakang pada paus) melibatkan pola ekspresi gen selama perkembangan embrio. Karena berbagai proses yang terjadi pada perkembangan embrio mempengaruhi fungsi organisme dewasa, maka organisme itu sendiri merupakan pokok dari proses seleksi alam. Organ vestigial mewakili perubahan dalam perkembangan embrio organisme yang ditempa atau dibentuk oleh seleksi alam.



Struktur homolog, tanda-tanda anatomis proses evolusi. Tungkai depan semua vertebrata dibangun dari unsur kerangka yang sama, dan terlihat adanya hubungan arsitektur seperti yang kita harapkan jika tungkai depan leluhur yang sama dimodifikasi menjadi beberapa struktur untuk mengemban berbagai jenis fungsi yang berbeda (Strickberger, 2000)

D. Bukti dari Embriologi Perbandingan

Organisme yang memiliki hubungan kekerabatan yang dekat akan mengalami tahapan yang sama dalam perkembangan embrionya. Sebagai contoh, semua embrio vertebrata akan mengalami suatu tahapan di mana mereka memiliki kantung insang dan rongga tulang belakang (Gambar 1.15). Pada tahapan perkembangan ini, ikan, salamander kura-kura, ayam, babi, sapi, kelinci, manusia dan semua vertebrata lain lebih banyak kesamaannya dari perbedaannya. Pada perkembangan selanjutnya menjadi semakin bervariasi, akhirnya akan memiliki ciri khas dari kelasnya. Pada ikan misalnya, kantung insang berkembang menjadi insang; pada vertebrata darat, struktur embrio tersebut akan dimodifikasi untuk fungsi-fungsi lain, seperti saluran eustachius yang menghubungkan telinga tengah dengan tenggorokan pada manusia. Embriologi perbandingan sering kali membentuk homologi pada beberapa struktur, seperti kantung insang, yang menjadi sedemikian berubah pada perkembangan selanjutnya sehingga asal mulanya yang sama tidak lagi terlihat dengan jelas saat membandingkan dengan bentuknya yang telah berkembang secara lengkap. (Widodo, Lestari, U, Amin ,M :2003)



Perbandingan embrio vertebrata (ikan, salamander, kura-kura, ayam, babi, sapi, kelinci, manusia) semua embrio vertebrata akan mengalami suatu tahapan di mana mereka memiliki kantung insang pada bagian samping tenggorokannya dan rongga tulang belakang (Strickberger, 2000).

Diilhami oleh prinsip Darwinian mengenai pewarisan yang dimodifikasi, ahli embriologi pada akhir abad ke-19 mengemukakan pandangan yang ekstrim "*ontogeni merupakan ikhtisar filogeni*". Pendapat ini menganggap bahwa

perkembangan organisme individu, atau ontogeni, merupakan ulangan sejarah evolusioner spesies, atau filogeni. Teori rekapitulasi ini adalah suatu pernyataan yang berlebihan. Meskipun semua vertebrata memiliki banyak ciri perkembangan embrio yang sama, tidak benar kalau mamalia pertama-tama mengalami tahap perkembangan ikan kemudian tahap amfibia dan seterusnya. Ontogeni dapat memberikan petunjuk untuk filogeni, tetapi penting untuk diingat bahwa semua tahapan perkembangan itu bisa berubah sepanjang rentetan proses evolusi yang panjang.

E. Bukti dari Biokimia dan Serologi Perbandingan

Studi anatomi perbandingan memperlihatkan adanya homologi anatomi, demikian pula studi biokimia dari macam-macam organisme telah mengungkapkan homologi biokimia. Persamaan biokimia organisme hidup adalah satu ciri yang mencolok dari kehidupan. Hubungan evolusi di antara spesies dicerminkan dalam DNA dan proteinnya (gen dan produk gen). Jika dua spesies memiliki pustaka gen dan protein dengan urutan monomer yang sangat bersesuaian, urutan itu disalin pasti dari nenek moyang yang sama. Jika ada dua paragraph panjang yang sama hanya beda satu atau dua huruf di beberapa tempat, tentunya kita akan mengatakan bahwa paragraph itu berasal dari sumber yang sama.

Biologi molekular merupakan pendukung Darwin yang paling berani, bahwa semua bentuk kehidupan saling berhubungan sampai tingkat tertentu melalui cabang-cabang keturunan dari organisme yang paling awal. Bahkan organisme yang secara taksonomi berbeda jauh, seperti manusia dan bakteri, memiliki beberapa protein yang sama.

Enzim-enzim sitokrom terdapat pada hampir setiap organisme hidup. Salah satu dari enzim ini, yaitu sitokrom c, adalah rantai polipeptida yang terdiri atas 104 sampai 112 asam amino (bergantung pada organisme yang menyandangnya). Pada tahun-tahun belakangan ini telah diketahui urutan asam amino yang pasti dalam rantai sitokrom c dan beragam organisme seperti manusia, kelinci, penguin raja, ular gerincing, ikan tuna, ngengat, kapang oncom merah (*Neurospora*) dan yang lainnya. Meskipun terdapat variasi dalam urutan, terutama antar organisme yang berkerabat jauh, ternyata ada juga sejumlah besar persamaannya. Urutan

Diilhami oleh prinsip Darwinian mengenai pewarisan yang dimodifikasi, ahli embriologi pada akhir abad ke-19 mengemukakan pandangan yang ekstrim "*ontogeni merupakan ikhtisar filogeni*". Pendapat ini menganggap bahwa perkembangan organisme individu, atau ontogeni, merupakan ulangan sejarah evolusioner spesies, atau filogeni. Teori rekapitulasi ini adalah suatu pernyataan yang berlebihan. Meskipun semua vertebrata memiliki banyak ciri perkembangan embrio yang sama, tidak benar kalau mamalia pertama-tama mengalami tahap perkembangan ikan kemudian tahap amfibia dan seterusnya. Ontogeni dapat memberikan petunjuk untuk filogeni, tetapi penting untuk diingat bahwa semua tahapan perkembangan itu bisa berubah sepanjang rentetan proses evolusi yang panjang.

F. Bukti dari Fisiologi Perbandingan

Fisiologi adalah ilmu dari cabang biologi yang mempelajari fungsi dari alat-alat tubuh. Ada faktor tak terkendali dalam membuat hubungan evolusioner dengan cara mengevaluasi tingkat kemiripan. Ternyata tidak semua tingkat kemiripan diwariskan dari nenek moyang yang sama. Spesies dari cabang evolusi yang berbeda bisa saja pada kenyataannya mirip satu sama lainnya jika mereka memiliki peranan lingkungan yang mirip dan seleksi alam telah membentuk adaptasi yang *analog*. Hal seperti ini disebut sebagai *evolusi konvergensi*, dan kemiripan akibat *konvergensi* disebut dengan *analogi*.

Sirip depan dan ekor ikan hiu dengan sirip depan dan ekor paus misalnya, adalah organ renang analog yang berevolusi secara independen dan dibangun dari struktur yang berbeda secara keseluruhan. Evolusi konvergen juga menghasilkan kemiripan analog antara marsupial Australia tertentu dengan hewan berplasenta yang mirip dan telah berevolusi secara independen pada benua lain. (Bukti Evolusi Fosil: 2020)

LATIHAN

1. Apa yang dimaksud dengan paleontologi dan fosil,...
2. Jelaskan pandangan Darwin tentang bukti evolusi
3. Berikan contoh tentang bukti taksonomi evolusi,.
4. Sebutkan tentang struktur homolog, jelaskan dan beri contoh
5. Jelaskan tentang bukti embriologi perbandingan,

DAFTAR PUSTAKA

Campbell. 2000. *Biologi Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

Bukti Evolusi Fosil. (online). (<http://www.scribd.com/doc/113164184/Bukti-Evolusi-Fosil>), diakses tanggal 8 mei 2015 pukul 14.00

Fried, George. 2006. *Biologi Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.

Reece, Campbell. 2012. *Biologi Edisi Kedelapan Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

BAB IV

ASAL – USUL KEHIDUPAN DAN KEANEKARAGAMAN

A. Asal Usul Kehidupan

Beberapa teori yang pernah berkembang sehubungan dengan asal-usul kehidupan.

1. Teori Abiogenesis

Teori ini bertolak dari adanya perubahan materi tak hidup menjadi makhluk hidup, sehingga dikenal sebagai teori *generatio spontanea*, menunjuk pada adanya perubahan yang spontan. Terlepas dari gagasan yang dikemudian hari masih dikembangkan, penolakan orang atas teori ini dikarenakan contoh yang tidak tepat yang digunakan oleh penganut teori ini.

2. Teori Biogenesis

Penolakan terhadap teori abiogenesis memunculkan teori biogenesis sebagai imbangannya. Sebagaimana diketahui teori biogenesis mengambil posisi yang sepenuhnya kebalikan dari teori abiogenesis, bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup (*omne vivum ex vivum*) atau makhluk hidup berasal dari telur (*omne vivum ex ovo*). Sepintas lalu teori itu melegakan, namun kalau ditilik lebih lanjut jelas bahwa teori ini tidak menjawab asal mula makhluk hidup yang pertama.

3. Teori Cosmozoik

Dalam teori ini diungkapkan bahwa asal mula makhluk hidup yang menghuni bumi ini berasal dari apa yang disebut “spora” kehidupan yang berasal dari luar angkasa bumi. Sudah tentu teori ini tidak dapat diterima terlebih pada waktu orang itu sudah tahu bahwa meteor yang jatuh ke bumi akan mengalami pergeseran yang begitu hebat hingga terbakar. Meskipun pergeseran yang dialami “spora” kehidupan tentunya tidak sehebat apa yang terjadi pada meteor namun factor-faktor lingkungan di angkasa di luar bumi maupun di bumi sendiri dibayangkan tidak memungkinkan “spora” kehidupan itu bertahan.

4. Teori Ciptaan

Penganut teori ini berbicara tentang proses perkembangan materi yang pada akhirnya membentuk makhluk hidup tanpa menyimpang dari asal mula materi pembentuknya.

5. Teori Naturalistik

Ada yang menamakan teori ini dengan sebutan Neobiogenesis, yang memandang terbentuknya makhluk pertama di bumi ini melalui tahapan-tahapan tertentu, mulai dari molekul-molekul CH_4 , NH_3 , H_2 , dan H_2O , unsur-unsur yang terdapat dalam atmosfer bumi purba. Pendapat ini pernah dicetuskan oleh Oparin sebagai titik tolak gagasannya tentang ciri makhluk hidup pertama yang heterotrof.

B. Berdasarkan Catatan Fosil

Fosil merupakan salah satu sumber utama dalam mempelajari asal-usul kehidupan. Fosil tertua diperkirakan berusia sekitar 500 juta tahun yang lalu dan ditemukan sekitar tahun 1950 di Australia, Afrika Selatan dan kemudian ditemukan di Kanada dan Norwegia. Fosil-fosil tersebut diperoleh dari batuan yang sangat tua, yang dikenal sebagai *Stromatolit*. Stromatolit bukan nama jenis organisme, tetapi nama batuan yang berlapis-lapis. Stromatolit tersebut ditemukan di daerah pantai, merupakan batuan yang terjadi dari proses mineralisasi algae dan bakteri. Di daerah pantai sering dijumpai suatu massa batuan yang tumbuh perlahan yang kita kenal sebagai batuan karang. Para ahli paleontologi menemukan bahwa kristal yang membentuk stromatolit sebenarnya banyak yang bentuknya serupa dengan ganggang biru bersel satu atau bakteri yang hidup sekarang, dan juga ditemukan di daerah pantai. Sayangnya, stromatolit hanya dapat memberikan gambaran mengenai bentuk luar dari bakteri atau algae bersel satu, tetapi tidak dapat memberikan gambaran bagaimana struktur dalamnya. Sejumlah kristal stromatolit memberikan gambaran bahwa ganggang yang membentuknya sedang berada pada tahap mitosis, karena terlihat sebagai dua bulatan yang bersatu. Dengan demikian kita mempunyai bukti bahwa kehidupan dimulai dari organisme bersel satu.

C. DNA vs RNA

Dari ekstrapolasi fosil dan dinamika gunung berapi, diperkirakan pada awal terjadinya kehidupan, atmosfer terdiri dari H_2 , NH_3 , H_2O , N_2 , CO_2 , O_2 , dan CO_2 . Pada masa itu, diperkirakan banyak sekali terdapat muatan listrik di atmosfer, sehingga geledak (petir) masih sering menyambar di siang hari. Menurut Oparin (1983), kehidupan hanya dapat terjadi apabila bahan baku utama (basa *Purin* dan *Pirimidin*) terdapat di alam. Maka percobaan dilakukan dengan mengatur udara dengan jumlah yang sesuai dari magma yang keluar dari gunung berapi. Udara tersebut disimpan dalam suatu alat untuk mensimulasi keadaan di atmosfer purba. Kemudian dengan diberikan bunga api sebagai pengganti geledak. Ternyata diperoleh sekitar sepuluh macam asam amino, aldehida dan juga HCN. Percobaan dengan HCN dan amonia dalam alat simulasi ternyata dapat menghasilkan *Adenin*, dan asam arotik. Proses fotokimia dengan sinar matahari dapat mengubah HCN menjadi *Urasil*.

Sejak tahun 1861, orang sudah memproduksi gula dari formadelhid. Pengetahuan ini diulangi kembali pada tahun 1961, ketika ditemukan bahwa formadelhid (formalin) yang dipolimerisasikan, ternyata membentuk gula ribosa dan bukan gula deoksiribosa. Penemuan ini menjelaskan bahwa RNA ternyata adalah produk yang mungkin lebih awal dari DNA. Dengan demikian diperkirakan bahwa kehidupan awal dimulai dari RNA dan bukan DNA.

Kenyataan ini masih menjadi masalah yang diperdebatkan dengan sejumlah argumen berbeda antara lain:

(1) Kelompok yang pro DNA sebagai materi kehidupan esensial menyatakan bahwa RNA tidak stabil, dan mudah sekali terurai, karena strukturnya hanya single strand. Dengan demikian, mereka meyakini bahwa kehidupan dimulai dari adanya DNA.

(2) Kelompok yang pro RNA, mengajukan argumentasi bahwa:

RNA merupakan satu-satunya produk yang mungkin dibentuk dari alam dan bukan DNA. Alasan lain ialah bahwa DNA yang berfungsi hanyalah satu rantai saja, sedangkan templetnya tidak akan menghasilkan apa-apa. Kehidupan primitif tidak mungkin dimulai dari sesuatu yang kompleks.

- Penemuan yang terbaru pada *Tetrahymena* menunjukkan bahwa RNA yang sangat pendek sekalipun dapat berfungsi katalitik, atau sebagai enzim. Hal ini tidak dijumpai pada DNA, oleh karena DNA tidak mempunyai gugus 2'-hidroksil. Gugus tersebut diperlukan dalam proses katalisasi, terutama pada tRNA yang memberikan bentuk daun semanggi. DNA tidak dapat membentuk struktur tersebut karena gugus tersebut sudah terisi oleh gugus oksigen (deoksi). Bentuk daun semanggi dibutuhkan untuk mendapatkan kemampuan katalisis. Adalah sulit diterima, kalau kehidupan awal terjadi tanpa katalisasi, hanya RNA yang mempunyai sifat ini sedangkan DNA tidak. Salah satu keuntungan RNA adalah bahwa RNA dapat membelah diri dan mengadakan multiplikasi tanpa DNA.
- Bukti lain menunjukkan bahwa DNA hanya berfungsi sebagai cetakan. Untuk dapat berfungsi, maka paling sedikit akan dibentuk mRNA terlebih dahulu. Dengan demikian, kehidupan awal yang masih sederhana dapat berlangsung dengan adanya RNA. Apabila kehidupan berawal dari DNA, maka RNA tetap harus dibentuk terlebih dahulu agar dapat berfungsi. Organisme yang paling primitif tidak memiliki DNA.
- Karena kehidupan awal adalah sederhana, maka para ahli lebih cenderung meyakini bahwa RNA-lah yang muncul terlebih dahulu. DNA adalah bentuk penyempurnaan, mengingat bahwa RNA mudah sekali terurai.

D. Asal-usul Keanekaragaman (Variabilitas)

Meskipun keanekaragaman (variabilitas) pada awal dikemukakan, prosesnya belum diketahui, namun keanekaragaman merupakan faktor utama dari evolusi. Hal ini dikemukakan oleh Lamarck, Darwin, maupun para pakar lain sesudah mereka. Tanpa ada keanekaragaman, evolusi tidak akan terjadi. Di alam ada dua faktor yang bekerja secara harmonis, yaitu: (a) faktor penyebab keanekaragaman, dan (b) faktor yang bekerja untuk mempertahankan keutuhan suatu jenis. Apabila dilihat secara tersendiri, maka kedua faktor tersebut seakan bertentangan. Namun pada hakekatnya kedua faktor tersebut bekerja dengan sangat harmonis.

Untuk melihat bagaimana timbulnya keanekaragaman, kita harus mulai dari melihat struktur yang paling kecil dari makhluk hidup, tetapi sangat penting. Struktur tersebut adalah DNA. DNA terdiri dari empat macam basa nitrogen

yaitu: *Adenin* (A), *Citosin* (C), *Guanin*(G), dan *Timin* (T), serta RNA mempunyai *Urasil* (U) pengganti *Timin* pada DNA. Keempat macam jenis basa nitrogen berfungsi menyusun atau membentuk 20 asam amino esensial. Kini diketahui bahwa kombinasi tiga dari keempat basa nitrogen tersebut akan membentuk satu asam amino. Kombinasi ini dikenal dengan nama *triplet kodon*. Secara umum, tiap satu asam amino dikode oleh sekitar tiga macam kombinasi. Ada asam amino yang dikode oleh satu kombinasi, sedangkan ada asam amino yang dikode oleh enam macam kombinasi. Dengan demikian maka suatu asam amino dapat dihasilkan lebih banyak banyak, bukan saja karena kode tersebut terdapat berulang-ulang, tetapi karena ada lebih banyak kemungkinan. Yang menjadi masalah sekarang ialah darimana terjadinya keanekaragaman. Adanya satu kode genetik atau lebih mengkode asam amino belum dapat menerangkan dengan jelas terjadinya keanekaragaman.

Sejak masa lampau, orang sudah mempertanyakan mengapa umur suatu organisme sejenis tidak sama. Hal ini jelas terlihat apabila kita memelihara suatu tumbuh-tumbuhan atau hewan. Keluarga-keluarga pada zaman dahulu umumnya mempunyai anak lebih dari dua. Hewan pada umumnya juga mempunyai anak lebih dari dua. Misalnya, pada katak dapat kita lihat bahwa jumlah telur yang dihasilkan berjumlah berratus-ratus butir. Apabila semuanya hidup dan mampu berkembang biak, mungkin saat ini seluruh permukaan bumi dipenuhi oleh katak, demikian juga bagi organisme lain. Namun kenyataan menunjukkan bahwa hal ini tidak mungkin terjadi. Hanya individu yang sehat dan kuat, atau yang sempurna dalam semua aspek kehidupannyalah yang dapat bertahan. Dalam kaitan ini, alam mengadakan seleksi terhadap setiap struktur morfologi, anatomis, maupun fisisologi setiap organsime.

Misalnya, ikan dalam suatu akuarium yang selalu diberi makanan secukupnya, semua kondisi hidup dicukupkan. Apabila semua individu ikan kita seleksi sehingga dapat dikategorikan sebagai sama dan hampir sempurna sekalipun, ternyata jumlahnya hanya bertambah pada suatu periode. Selanjutnya populasinya hanya berkisar pada jumlah tertentu saja. Padahal semua pasangan yang hidup dalam akuarium tersebut sehat dan sangat berpotensi untuk berkembang biak. Ada suatu hal yang menyebabkan ikan-ikan tersebut tidak

berkembang biak, yaitu ruang yang tidak cukup. Ikan-ikan tersebut seakan tahu, bahwa apabila mereka terus berkembang biak, maka mereka tidak dapat bergerak bebas. Hal ini yang disebut dengan daya dukung dari akuarium tersebut tidak cukup. Jadi selain struktur biologis yang hampir sempurna, makanan yang cukup, ternyata daya dukung suatu tempat ikut menentukan sukses tidaknya suatu jenis organisme dapat bertahan di muka bumi.

Setiap organisme di dunia mempunyai kisaran toleransi tertentu. Misalnya manusia muda (bayi) mempunyai kisaran toleransi suhu tubuh dari $35 - 42^{\circ}\text{C}$. Manusia dewasa biasanya batas toleransi suhu antara $36 - 41^{\circ}\text{C}$. Di luar kisaran toleransi tersebut manusia tidak dapat bertahan, dan memerlukan usaha lain untuk mempertahankan dirinya. Kisaran toleransi suatu organisme tidak hanya menyangkut suhu saja tetapi berkaitan pula terhadap aspek-aspek biologis yang lain.

Semua atau hampir semua aspek-aspek toleransi dan variasi yang terdapat pada suatu organisme terkait dengan mekanisme kerja gen-gen tertentu pada organisme tersebut. Variasi organisme yang terjadi akibat kerja gen-gen tertentu banyak sekali macamnya, misalnya:

- (1) Wajah manusia tidak ada yang sama. Sebenarnya hal ini berlaku pula pada tumbuh-tumbuhan dan hewan, namun mata kita tidak mampu atau tidak dibiasakan untuk dapat membedakannya.
- (2) Adanya variasi warna tubuh yang terdapat pada ikan, kucing, anjing, sapi dan organisme-organisme lainnya.
- (3) Adanya golongan darah yang bermacam-macam.
- (4) Adanya bermacam-macam mutan.
- (5) Adanya ekotipe.

Jadi variasi itu memang ada. Adanya variasi hanya dapat diterangkan secara adaptasi dan secara genetik. Variasi adaptasi, dapat kita lihat pada olahragawan yang otot-ototnya lebih terlatih sehingga berukuran lebih besar dari kebanyakan orang. Namun variasi adaptasi tidak dapat diturunkan secara langsung kepada keturunannya. Variasi genetiklah merupakan satu-satunya kemungkinan yang dapat menerangkan proses evolusi. Secara genetik variasi dapat timbul akibat mutasi.

Mutasi adalah suatu peristiwa yang umum terjadi. Diperkirakan selalu ada satu mutasi per 10.000 – 1.000.000. organisme, atau rata-rata sekitar 1/100.000 sel. Sedangkan jumlah gen suatu organisme dapat mencapai 10.000. Dari angka ini dapat disimpulkan bahwa kemungkinan terjadinya mutasi sangat banyak.

Berikut ini dikemukakan beberapa akibat kejadian mutasi yakni:

(1) *Mutasi mengubah struktur DNA, tetapi tidak mengubah produk yang dihasilkan.* Seperti yang sudah diketahui, DNA merupakan sumber informasi genetik. DNA akan ditranslasikan menjadi asam amino, selanjutnya asam amino membentuk protein. Ada asam amino yang dikode oleh satu kode genetik (kodon), tetapi ada juga yang dikode oleh lebih dari satu (misalnya enam) kode genetik. Apabila mutasi terjadi pada satu tempat pada DNA, tetapi tidak mengubah produk asam amino yang dihasilkan atau dalam hal ini asam amino yang dihasilkan tetap sama, maka mutasi tersebut tidak berakibat apa-apa (lihat penjelasan Mutasi titik Bab II).

(2) *Mutasi mengubah struktur DNA, dan mengubah komposisi produk, tetapi tidak mengubah fungsi produk yang dihasilkan.* Dalam hal ini terjadi perubahan produk, sehingga misalnya asam amino yang dihasilkan adalah *Lisin*. Padahal kode genetik sebelum mutasi terjadi adalah asam amino *Treonin*. Akibatnya terjadi perubahan dalam rantai protein yang dihasilkan. Walaupun demikian, protein itu tidak mengalami perubahan fungsi.

(3) *Mutasi mengubah fungsi produk yang dihasilkan, tetapi tidak berakibat apa-apa.* Mutasi dapat berakibat lebih besar, sehingga fungsi suatu protein berubah. Misalnya kita mengenal golongan darah ada beberapa macam. Golongan darah yang lebih langka diduga sebagai hasil mutasi dari golongan darah yang paling umum. Semuanya berfungsi normal, namun kalau dilakukan transfusi darah dengan golongan darah yang lain, baru akibatnya dapat dilihat.

(4) *Mutasi mengakibatkan terjadi perubahan fungsi yang besar, namun kejadiannya pada sel somatik, jadi tidak diturunkan.* Mutasi sel somatik jarang kita lihat. Sebagai contoh, tahi lalat dapat dianggap sebagai suatu mutasi somatik yang diturunkan.

(5) *Mutasi bersifat fatal, sehingga organisme tersebut mati, jadi tidak terlihat.* Mutasi yang bersifat fatal ini dikenal dengan gen lethal. Banyak gen lethal yang diketahui misalnya hemofilia.

(6) *Mutasi yang menguntungkan.* Contoh mutasi menguntungkan sangat banyak. Mutasi yang menguntungkan dapat dilihat dari banyak segi. Bagi manusia mutasi mungkin menguntungkan tetapi bagi organisme lain mungkin merugikan. Misalnya, mutan ayam broiler, sapi pedaging, menguntungkan bagi manusia tetapi bagi hewan tersebut tidak demikian, karena hewan-hewan tersebut menjadi lemah, dan lamban sehingga lebih mudah dimangsa predatornya.

Dari ke-enam kemungkinan di atas kasus ke-lima yang berakibat fatal, sebenarnya paling umum terjadi. Sedangkan kasus terakhir merupakan mutasi yang sering terlihat, sehingga kita menganggap mutasi yang terjadi sedikit sekali.

Sistem biologis dan atau sistem genetik adalah suatu sistem yang dianggap sempurna. Sistem ini tidak akan menjadi suatu sistem yang baik, jika sistem tersebut tidak bersifat baka (tetap). Kalau suatu sistem mudah berubah, itu bukan lagi suatu sistem. Namun demikian evolusi tidak terjadi jika sistem biologis tersebut terlalu kaku sifatnya. Organisme yang tidak dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan akan mudah musnah (punah) oleh suatu perubahan lingkungan/alam, baik yang terjadi tiba-tiba maupun yang berlangsung lambat. Jadi pada setiap sistem selalu ada kisaran toleransi yang terlihat dalam bentuk yang bervariasi. Dalam sistem biologis terdapat dua macam faktor yang bekerja secara harmonis, yaitu faktor-faktor yang bersifat konservasi (mengawetkan atau mempertahankan keberadaan suatu organisme), dan faktor-faktor tersebut juga mempunyai aspek-aspek yang memungkinkan terjadinya perubahan. Faktor-faktor tersebut adalah materi genetik.

Ada beberapa hal yang memungkinkan terjadinya mutasi. Pada dasarnya kesalahan atau mutasi terjadi dalam urutan basa nitrogen pada asam nukleat. Perubahan atau mutasi tersebut terjadi akibat beberapa faktor antara lain:

(1) *Tautomer*

Suatu unsur yang diketahui mempunyai beberapa buah isotop. Pada molekul suatu senyawa, kita mengetahui adanya isomer. Demikian pula halnya dengan makromolekul biologis yang kita kenal dengan asam nukleat. Asam nukleat juga

mempunyai suatu *sterio-isomer*, yaitu mempunyai dua macam molekul dengan bangun yang serupa tetapi seperti bayangan cermin dan sifat kimianya sedikit berlainan dengan bentuk pasangannya. Pada umumnya *Adenin* akan berpasangan dengan *Timin* atau *Urasil*(pada RNA), sedangkan *Citosin* akan berpasangan dengan *Guanin*. Tetapi *Adenin* yang merupakan bentuk *sterio-isomer* akan berpasangan dengan *Citosin*. Demikian pula untuk *sterio-isomer* yang lain. *Sterio-isomer* tersebut memungkinkan sebagai faktor penyebab terjadinya pasangan yang salah dan mengakibatkan terjadinya mutasi. Untungnya jumlah *sterio-isomer* biasanya sangat jarang atau bersifat tidak stabil, seperti halnya dengan isotop atau bentuk kristal suatu molekul yang kita kenal.

(2) *Struktur Analog*

Ada sejumlah molekul di dalam sel yang dapat berlaku sebagai asam nukleat dan dengan demikian dapat berpasangan pada proses replikasi, ataupun transkripsi dan translasi. Karena molekul tersebut adalah molekul yang umumnya terdapat di dalam sel, maka molekul tersebut tidak akan dideteksi oleh sel. Dengan demikian mungkin sekali terjadi kesalahan. Misalnya, *bromo-urasil*, *bromodeoksi-uridin*, *2-amino-purin*, *inosin*, *hiposantin*, dll. Molekul-molekul tersebut berlaku sebagai asam nukleat pada proses replikasi atau transkripsi, namun pada proses berikutnya tidak berfungsi tepat seperti pasangan asam nukleat yang seharusnya berada pada rantai DNA di tempat tersebut.

(3) *Inhibitor*

Beberapa molekul tertentu dapat menempati ruang pada DNA yang seharusnya diisi oleh suatu asam nukleat. Misalnya, *akridin*, *pseudo-uridin*, *metil-inosin*, *ribotimidin*, *metil-guanosin*, dan *dihidroksi-uridin*. Apabila molekul-molekul tersebut menempati tempat asam nukleat, maka pada proses berikutnya molekul-molekul tersebut tidak akan dikenal, sehingga terjadilah penterjemahan yang salah oleh sel tersebut dan mengubah kode genetik selanjutnya. Dengan demikian setiap inhibitor akan menyebabkan kode genetik untuk seluruh rantai berikutnya mengalami perubahan.

(4) *Radiasi*.

Ada bermacam-macam radiasi. Radiasi UV, radioaktif, energi tinggi sinar matahari, juga merupakan penyebab mutasi.

Dari ke-empat faktor penyebab mutasi di atas, faktor ke-tiga dan faktor ke-empat yang paling dikenal, meskipun faktor pertama adalah penyebab yang paling umum. Ini adalah perubahan yang kita tinjau dari segi gen, namun demikian mutasi dapat terjadi pula pada struktur yang lebih besar, mislanya mutasi pada struktur kromosom ikut memainkan peranan penting dalam evolusi.

LATIHAN

1. Sebutkan teori-teori tentang asal-usul kehidupan,tolong jelaskan..
2. Jelaskan proses asal-usul keanekaragaman (variabilitas),
3. Sebutkn macam-macam variasi organisme yang terjadi akibat kerja gen tertentu,.
4. Jelaskan akibat terjadinya mutasi,.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, Neil A. Jane B. Reece, Lawrence G. Mitchell. 2003. *Biologi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Darwin, Charles. 2003. *The Origin of Species – AsalUsulSpesies*. Diterjemahkanoleh Tim UNAS. Jakarta: YayasanObor Indonesia.
- Suryanto. 2003. *Melihat Keanekaragaman Organisme Mealui Beberapa Teknik Genetika Molekuler*. USU. Medan. Sutarno. 2012. *Kimia dari Gen*. UNS. Semarang.
- Wahyudi, Ivan Arie. 2011. *Biologi Molekuler-Prinsip Dasar Analisis*. Erlangga. Jakarta

BAB V

SELEKSI ALAM DAN VARIASI

A. Seleksi Alam

Seleksi alam adalah proses non-acak bertahap dimana sifat-sifat biologi bisa menonjol atau menghilang dari populasi sebagai fungsi perbedaan reproduksi dari pembawanya. Evolusi melalui seleksi alam adalah suatu proses dengan mana mutasi genetik yang meningkatkan reproduksi menjadi ada, menjadi tetap, atau makin banyak dijumpai pada generasi selanjutnya. Ini sering disebut mekanisme “self-evident” sebab ada tiga syarat yang wajib terpenuhi agar ini dapat terjadi, yaitu

- Ada variasi terwariskan pada organisme dalam populasi tersebut
- Organisme menghasilkan lebih banyak anak, namun sedikit sekali yang bisa *survive* (bertahan hidup)
- Anak-anak atau keturunan ini memiliki kemampuan survive dan bereproduksi yang bervariasi.

Seleksi alam di dalam populasi untuk suatu sifat yang kisaran nilainya bervariasi seperti misalnya tinggi badan, dapat dikategorisasi dalam tiga tipe.

- Yang pertama adalah seleksi terarah (*directional selection*), yang merupakan pergantian nilai rata-rata sepanjang waktu-misalnya organisme makin lama akan makin tinggi atau makin panjang atau makin besar dan seterusnya. Bisa juga ini sebaliknya, misalnya organisme semakin lama akan semakin pendek atau semakin kecil dan seterusnya.
- Yang kedua seleksi diskriptif (seleksi yang mengganggu), adalah seleksi bagi sifat-sifat ekstrem dan sering menghasilkan dua nilai yang berbeda yang banyak dijumpai dalam populasi, dengan seleksi melawan nilai rata-rata. Kalau kembali ke contoh tadi di sini tinggi atau rendah adalah menguntungkan dan nilai medium menjadi tidak menguntungkan. Contoh yang sering diberikan adalah diferensiasi seks, jantan dan betina adalah dua sifat yang dianggap ekstrem dan di luar sifat-sifat ini tidak menguntungkan dan akan terseleksi. Dua sifat ekstrem ini sangat potensial untuk saling tertarik dan kawin.

- Yang ketiga adalah seleksi stabil. Dalam hal ini, organisme yang memiliki nilai rata-rata akan lebih beruntung dibanding organisme yang memiliki nilai ekstrem. Contoh paling menarik adalah berat badan bayi. Berat badan bayi rata-rata adalah sekitar 3 kg. Semakin jauh dari nilai rata-rata (bayi yang sangat kecil atau bayi sangat besar) akan tidak menguntungkan dan memiliki survival rate yang rendah sehingga hingga saat ini ukuran berat badan bayi cenderung sama.

Seleksi alam umumnya membuat alam sebagai ukuran mengenai individu mana atau sifat-sifat individu mana yang cenderung bisa survive. “Alam” di sini merujuk pada ekosistem, yakni sistem di mana organisme berinteraksi dengan setiap elemen, fisik maupun biologi, di dalam lingkungan lokalnya. Eugene Odum, bapak ekologi, mendefinisikan ekosistem sebagai *“setiap unit yang mencakup semua organisme pada suatu area tertentu yang berinteraksi dengan lingkungan fisik sehingga memungkinkan aliran energi menyebabkan struktur trofik yang jelas, keragaman biotik serta siklus (dengan kata lain, pertukaran materi antara bagian hidup dan bagian tak hidup) di dalam sistem.”*

Beberapa Catatan Tentang Seleksi Alam adalah sebagai berikut.

1. Pentingnya populasi dalam evolusi

Populasi adalah sekumpulan kelompok individu yang saling kawin dan termasuk ke dalam suatu spesies tertentu serta berbagi tempat di daerah geografi yang sama. Suatu populasi adalah satuan terkecil yang dapat berkembang. Seleksi alam melibatkan interaksi antara individu dalam lingkungannya, seleksi alam bekerja pada populasi, bukan pada individu. Evolusi dapat diukur hanya dengan melihat perubahan dalam pembagian relatif variasi dalam satu populasi selama beberapa generasi.

2. Seleksi alam akan memperbesar atau memperkecil variasi yang dapat diwariskan

Seperti kita lihat, suatu organisme bisa dimodifikasi melalui hal-hal yang dialaminya sendiri selama masa hidupnya, dan ciri yang didapatkan seperti itu bahkan mungkin lebih mengadaptasikan organisme tersebut dengan lingkungannya, tetapi tidak ada bukti bahwa ciri-ciri atau sifat-sifat yang didapat selama hidup itu dapat diwariskan. Kita harus membedakan antara adaptasi yang

didapat oleh organisme melalui tindakannya sendiri, dengan adaptasi yang diwariskan dan berkembang dalam suatu populasi selama beberapa generasi sebagai akibat dari seleksi alam.

- 3) Ciri khas seleksi alam tergantung pada situasi; faktor lingkungan berbeda dari suatu tempat ke tempat lain dan dari suatu masa ke masa lain.

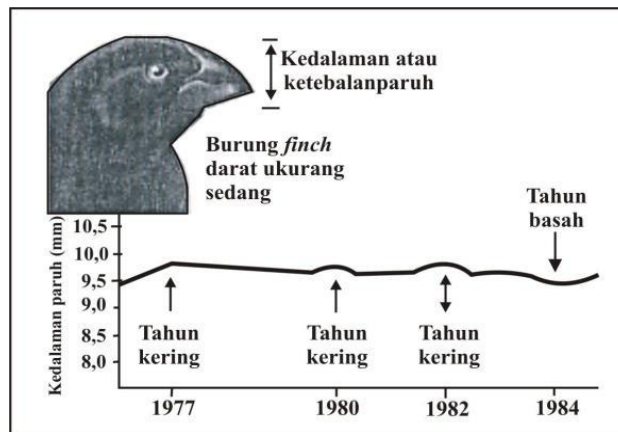
Suatu adaptasi dalam suatu situasi mungkin tidak berguna atau bahkan merugikan pada keadaan lain yang berbeda, beberapa contoh akan memperkuat kualitas seleksi alam yang tergantung pada situasi.

B. Contoh-contoh Mekanisme Seleksi Alam

Dalam suatu penyelidikan mengenai mekanisme seleksi alam, para saintis menguji hipotesis Darwin bahwa paruh burung *Finch* Galapagos merupakan hasil adaptasi evolusioner terhadap sumber makanan yang berbeda. Selama lebih dari 20 tahun, Peter dan Rosemary Grant dari *Princeton University* telah mempelajari populasi burung finch darat berukuran sedang (*Geospiza fortis*) di Daphne Major, sebuah pulau yang sangat kecil dalam gugusan kepulauan Galapagos.

Burung-burung tersebut menggunakan paruhnya yang kuat untuk menghancurkan biji-bijian, dan mereka lebih senang memakan biji yang kecil yang dihasilkan secara berlimpah oleh spesies tumbuhan tertentu selama tahun-tahun banyak curah hujannya. Pada tahun-tahun kering, semua biji-bijian itu berkurang produksinya, dan burung *finch* tersebut terpaksa selain memakan biji-bijian kecil yang sedikit jumlahnya juga memakan biji-bijian yang lebih besar yang banyak jumlahnya tetapi jauh lebih sukar untuk dihancurkan. Keluarga Grant menemukan bahwa ketebalan rata-rata paruh (jarak antara paruh atas dan paruh bawah) pada populasi burung tersebut berubah seiring dengan berubahnya tahun. Saat musim kering ketebalan rata-rata paruh meningkat, kemudian mengecil kembali saat musim hujan. Sifat tersebut merupakan sifat yang dapat diturunkan. Keluarga Grant mengaitkan perubahan itu dengan ketersediaan relatif biji-bijian kecil dari tahun ke tahun. Burung-burung dengan paruh yang lebih kuat mungkin memiliki keuntungan lebih selama musim kering, ketika kelangsungan hidup dan reproduksi bergantung pada kemampuan untuk memecah biji-bijian besar. Sebaliknya, paruh yang lebih kecil tampaknya merupakan alat yang lebih

efisien untuk memakan biji-bijian yang lebih kecil yang produksinya berlimpah selama musim hujan.



Kerja seleksi alam: evolusi paruh pada salah satu burung finch yang dibahas Darwin. Burung finch darat berukuran sedang (*Geospiza fortis*), salah satu dari burung yang ditemukan Darwin di kepulauan Galapagos, menggunakan paruhnya yang kuat untuk memecah dan menghancurkan biji-bijian. Jika diberikan kesempatan untuk memilih biji-bijian besar atau biji-bijian kecil, burung itu akan memilih biji-bijian kecil yang lebih mudah dipecahkan. Selama tahun-tahun basah (banyak hujan), biji-bijian kecil dihasilkan sangat berlimpah sehingga burung finch darat relatif mengkonsumsi hanya sedikit biji-bijian besar. Akan tetapi, selama tahun-tahun kering (kemarau) ketersediaan semua biji-bijian menjadi berkurang, dan burung-burung itu secara proporsional memakan lebih banyak biji-bijian besar. Perubahan dalam pola ketersediaan makanan ini berhubungan dengan perubahan dalam rata-rata ketebalan (dimensi dari atas ke bawah) paruh burung tersebut. Sifat ini diwariskan dan bukan didapatkan (misalnya dengan penggunaan paruh itu untuk biji-bijian besar). Penjelasan yang paling mungkin adalah burung-burung yang kebetulan memiliki paruh yang lebih kuat memiliki keuntungan dalam hal makanan dan dengan demikian memiliki keberhasilan reproduksi yang lebih besar selama masa kering, burung-burung itu akan menurunkan gen untuk paruh yang lebih tebal sampai ke keturunannya .

Kajian dan penelitian keluarga Grant mengenai evolusi paruh memperkuat pendapat yang mengatakan bahwa seleksi alam tergantung pada situasi: apa yang bekerja paling baik pada lingkungan tertentu bisa jadi kurang sesuai dalam situasi

yang berbeda. Juga penting untuk dipahami bahwa evolusi paruh di Daphne Major tidak dihasilkan oleh pewarisan sifat-sifat yang didapat. Lingkungan tidak menciptakan paruh yang memiliki spesialisasi untuk memakan biji-bijian yang lebih besar atau yang lebih kecil, tetapi bergantung pada curah hujan tahunan.

Lingkungan hanya bekerja pada variasi yang didapatkan dalam populasi, yang lebih menguntungkan kelangsungan hidup dan keberhasilan reproduksi beberapa individu dibandingkan dengan individu yang lain. Seleksi alam akan memperbaiki populasi. Perbandingan burung *finch* berparuh tebal meningkat selama musim kering karena secara rata-rata individu-individu dengan paruh yang lebih tebal menurunkan gen-gennya ke lebih banyak keturunan dibandingkan dengan burung-burung yang berparuh tipis.

Dan bukti di atas, para saintis telah menunjukkan pada kita bahwa seleksi alam merupakan suatu mekanisme perubahan dalam populasi yang terus terjadi: proses itu telah diperkuat secara berulang-ulang melalui kajian ilmiah yang cermat, di mana prediksi berdasarkan hipotesis diuji melalui pengamatan dan percobaan. Ironisnya, Darwin sendiri mengira bahwa seleksi alam selalu bekerja terlalu lambat, sehingga tidak dapat diamati. Ia juga tidak dapat memberi jawaban yang memuaskan mengenai variasi genetik. Sekarang kita mengetahui bahwa variasi tersebut timbul melalui mekanisme *mutasi acak* dan *rekombinasi genetik*.

C. Variasi

Variasi berasal dari mutasi materi gen, pertukaran gen melalui reproduksi seksual, dan migrasi antara populasi (gene flow). Variasi juga berasal dari pertukaran gen antar berbagai spesies, misalnya melalui transfer gen horizontal pada bakteri dan hibridisasi pada tanaman. Meskipun ada introduksi konstan variasi melalui proses-proses ini, kebanyakan genom spesies identik pada semua individu spesies yang bersangkutan.

Teori seleksi alam Darwin meletakkan dasar-dasar teori evolusi modern dan eksperimen serta observasinya menunjukkan bahwa organisme dalam populasi bervariasi satu sama lain bahwa variasi ini diwariskan, dan perbedaan-perbedaan ini dapat terjadi melalui seleksi alam.

Sumber variasi antar individu

Di dalam inti sel (nukleus) kebanyakan makhluk terdapat kromosom, yaitu benda-benda halus berbentuk batang panjang atau pendek dan lurus atau bengkok, dengan bahan penyusun berupa kromatin. Kromosom adalah pembawa bahan keturunan. Kromatin berupa jalinan benang-benang halus dalam plasma inti (nukleoplasma). Disebut demikian karena, kalau suatu jaringan diwarnai dengan suatu zat warna, jalinan itu akan mengisap banyak zat warna. Berasal dari kata *chroma* = berwarna, dan *tin* = benang. Bagian-bagian kromatin tidak jelas terlihat dari mikroskop biasa, karena halusnya dan tak teratur. Terdiri atas benang kromonema yang berpilin-pilin longgar, diselaputi protein. Kalau sel mengalami proses pembelahan, pilinan itu menjadi sangat rapat, sehingga kromatin memendek dan membesar. Pada saat itu terlihat jelas dengan mikroskop biasa, dan disebut kromosom. Benda-benda ini, untuk pertama kali diberi nama kromosom (Latin: *krom* = warna; *soma* = tubuh) oleh Waldeyer (1888). Sedangkan Morgan (1933) menemukan fungsi kromosom dalam pemindahan sifat-sifat genetik. Kemudian disusul oleh para peneliti lain yang memberikan keterangan lebih banyak tentang kromosom. Oleh karena jumlah kromosom yang dimiliki tiap spesies tertentu adalah tetap, maka hal ini mempunyai arti penting dalam mengenal filogeni dan taksonomi dari suatu spesies. Sebagai contoh, cacing *Ascaris megalocephalus univalens* merupakan makhluk yang mempunyai kromosom paling sedikit, yaitu hanya dua kromosom di dalam sel somatis (sel tubuh). Makhluk-makhluk lain mempunyai kromosom yang berbeda-beda. Jumlah kromosom pada makhluk hidup umumnya berbeda-beda untuk masing-masing jenis. Walaupun jumlah kromosom sama untuk dua jenis organisme, hal ini tidak menunjukkan kedekatan tingkat kekerabatan.

Dalam sel yang sedang membelah, kromosom biasanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop biasa, terutama organisme yang memiliki ukuran kromosom yang cukup besar, misalnya akar bawang merah. Akan tetapi untuk mempelajari struktur halusnya harus digunakan mikroskop elektron, karena dapat memberikan perbesaran jauh lebih kuat (Gambar. 2). Kromosom terdiri atas dua bagian, yaitu lengan (badan kromosom) dan sentromer (bagian yang membagi kromosom menjadi dua lengan). Pada makhluk tingkat tinggi, sel somatis (sel tubuh) mengandung satu pasang kromosom yang diterimanya dari kedua

induk/orang tuanya. Kromosom-kromosom yang berasal dari induk betina bentuknya serupa dengan yang berasal dari induk jantan. Maka sepasang kromosom itu disebut kromosom homolog. Karena itu jumlah kromosom dalam sel tubuh dinamakan diploid ($2n$). Sel kelamin (gamet) hanya mengandung separuh dari jumlah kromosom yang terdapat di dalam sel somatis, karena itu jumlah kromosom dalam gamet dinamakan haploid (n). Satu stel kromosom haploid dari suatu spesies disebut genom.

LATIHAN

1. Jelaskan tentang seleksi alam,.
2. Sebutkan syarat-syarat mekanisme self-evident,.
3. Jelaskan pentingnya populasi dalam evolusi,.
4. Sebutkan conroh-contoh mekanisme seleksi alam,.
5. Apa yang disebut dengan variasi, tolong jelaskan,.

DAFTAR ISI

- Hidayat, dayat. 2010. Seleksi Alam. [http://evolusi/Seleksi alam - Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas.htm](http://evolusi/Seleksi%20alam%20-%20Wikipedia%20bahasa%20Indonesia,%20ensiklopedia%20bebas.htm)(DIakses tanggal 10 Oktober 2020).
- Sutantri. 2014. *Adaptasi*. <http://id.scribd.com/doc/76111234/ADAPTASI>, (DIakses tanggal 10 Oktober 2020).
- Swara, anjar. 2013 Seleksi Alam. http://www.academia.edu/6274831/SELEKSI_ALAM_FIX (DIakses tanggal 10 Oktober 2020).
- Vitasari. 2013. Evolusi. [http://evolusi/Teori Evolusi Charles Darwin Tentang Seleksi Alam Dari Inggris Dgn Buku On the Origin of Species by Means of Natural Selections Organisasi_Org.htm](http://evolusi/Teori%20Evolusi%20Charles%20Darwin%20Tentang%20Seleksi%20Alam%20Dari%20Inggris%20Dgn%20Buku%20On%20the%20Origin%20of%20Species%20by%20Means%20of%20Natural%20Selections%20Organisasi_Org.htm)(DIakses tanggal 10 Oktober 2020)

BAB VI

SPESES DAN SPESESIES

A. KONSEP SPESESIES

Spesies dalam bahasa latin berarti “jenis” atau “penampakan”. Spesies merupakan unit dasar untuk memahami biodiversitas. Menurut Waluyo (2005), spesies adalah suatu kelompok organisme yang hidup bersama di alam bebas, dapat mengadakan perkawinan secara bebas, dan dapat menghasilkan anak yang fertil dan bervitalitas sama dengan induknya. Menurut Mayden (1997) dalam Ariyanti (2003) saat ini ada sekurang-kurangnya 22 konsep untuk mendefinisikan spesies yang semuanya tampak berbeda-beda. Itu artinya bahwa para ahli mempunyai sikap dan pandangan yang berbeda-beda dalam memahami tentang spesies.

Munculnya keanekaragaman konsep spesies ini dilatarbelakangi oleh dua alasan mendasar. Alasan pertama adanya perbedaan pemahaman tentang spesiasi yang merupakan proses munculnya suatu spesies baru. Karena spesiasi bukan hanya menarik perhatian para ahli evolusi, tetapi juga telah memikat perhatian dari berbagai disiplin bidang biologi lainnya seperti morfologi, genetika, ekologi, fisiologi, paleontologi, biologi reproduksi, dan biologi tingkah laku. Alasan kedua adalah karena spesies merupakan hasil dari proses evolusi yang terus berjalan. Artinya bahwa konsep spesies yang dibuat berdasarkan proses spesiasi yang masih sebagian berjalan akan berbeda dengan konsep spesies yang dibuat ketika spesies itu benar-benar sudah sampai pada akhirnya. Selain itu, bermacam konsep spesies muncul karena tujuan klasifikasi yang berbeda-beda. Seperti misalnya untuk tujuan identifikasi yang dilakukan oleh ahli taksonomi tumbuhan seringkali digunakan konsep spesies fenetik, sedangkan untuk mengamati keragaman genetik yang diperlukan dalam bidang konservasi digunakan konsep spesies biologi.

Ernst Mayr pada tahun 1963 mendefinisikan konsep spesies biologis (*Biological Species Concept/BSC*) yang dapat diterima secara luas. Spesies menurut BSC adalah suatu populasi atau kelompok populasi alami yang secara aktual memiliki potensi dapat saling kawin (*interbreeding*) dan menghasilkan keturunan yang dapat hidup fertil, namun tidak dapat menghasilkan keturunan

yang fertil jika kawin dengan spesies lain. Dengan kata lain, suatu spesies biologis adalah unit populasi terbesar di mana pertukaran genetik mungkin terjadi dan terisolasi secara genetik dari populasi kelompok lainnya. Konsep ini didasarkan pada dua pandangan biologis yaitu reproduksi seksual meningkatkan keseragaman dalam gen pool melalui rekombinasi genetik dan jika dua kelompok populasi itu tidak dapat melakukan kawin silang maka di sana tidak terjadi aliran gen (*gene flow*) di dalam lungkang gen (*gene pools*). Ketidakmampuan interbreeding (perkawinan) akan memunculkan spesies yang berasal dari penggabungan bersama pada beberapa waktu berikut setelah kondisi telah mengalami perubahan. Jadi berdasarkan konsep ini, maka kriteria yang menentukan keberhasilan reproduksi seksual adalah kemampuan untuk menghasilkan keturunan yang fertil. Konsep spesies ini tidak berlaku untuk organisme asexual dan hibridisasi antarspesies.

Campbell (2003) mengemukakan ada beberapa konsep spesies antara lain:

Konsep spesies Biologis mendefinisikan suatu spesies sebagai suatu populasi atau kelompok populasi yang anggota-anggotanya memiliki kemampuan untuk saling mengawini satu sama lain di alam dan menghasilkan keturunan yang dapat hidup dan fertil jika kawin dengan spesies lain. Dengan kata lain suatu spesies biologi adalah unit populasi terbesar dimana pertukaran genetik mungkin terjadi dan terisolasi secara genetik dari populasi lain semacamnya. Anggota suatu spesies biologis dipersatukan oleh ciri kesesuaian ciri reproduksi. Semua manusia termasuk ke dalam spesies biologis yang sama. Sebaliknya manusia dan simpanse tetap merupakan spesies biologis yang sangat jelas berbeda meskipun hidup di wilayah yang sama karena kedua spesies itu tidak dapat saling mengawini.

Konsep spesies pengenalan menekankan pada adaptasi perkawinan yang telah tetap dalam suatu populasi. Menurut konsep ini suatu spesies didefinisikan oleh suatu kumpulan sikap dan ciri unik yang memaksimalkan keberhasilan perkawinan ciri molekuler morfologis perilaku yang memungkinkan individu untuk mengenali pasangan kawinnya. Konsep ini cenderung berfokus pada sifat dan ciri yang dipengaruhi oleh seleksi alam dan terbatas hanya pada spesies yang bereproduksi secara seksual.

Konsep spesies kohesi berfokus pada mekanisme yang mempertahankan spesiesnya sebagai bentuk fenotip tersendiri. Tergantung pada spesies, mekanisme ini meliputi sawar reproduktif seleksi penstabilan dan tautan antara kumpulan gen yang membuat zigot berkembang menjadi organisme dewasa dengan ciri khas yang spesifik. Konsep ini dapat diterapkan pada organisme yang bereproduksi secara aseksual. Konsep ini juga mengakui bahwa perkawinan silang diantara beberapa spesies menghasilkan keturunan hibrida yang fertil dan terkadang hibrida itu berhasil kawin dengan salah satu spesies induknya. Konsep ini menekankan pada adaptasi yang mempertahankan spesies tetua tetap utuh meskipun ada sedikit aliran gen diantara mereka. Konsep ini dapat digunakan pada setiap kasus yang melibatkan hibridisasi.

Konsep spesies ekologis mendefinisikan spesies pada tempat dimana mereka hidup dan apa yang mereka lakukan dan bukan dari penampakan mereka. Suatu spesies ekologis didefinisikan oleh peranan unik yang dimainkannya atau posisi dan fungsi spesifiknya dalam lingkungan. Contohnya dua populasi hewan yang tampak identik dapat dikatakan merupakan dua spesies ekologis yang berbeda jika masing-masing hanya ditemukan dalam jenis lingkungan spesifik (misalnya kolam air tawar dengan kumpulan keadaan kimia, biologi, dan fisik yang khas).

Konsep spesies evolusioner mendefinisikan suatu spesies sebagai suatu urutan populasi tetua dan keturunannya yang berkembang secara bebas dari kelompok lain. Masing-masing spesies evolusioner memiliki peranan yang unik dan terpisah dalam lingkungan, setiap peran tertentu melibatkan sekumpulan kekuatan seleksi alam yang spesifik (tekanan selektif). Dengan demikian populasi yang membentuk suatu spesies dipengaruhi dan disatukan oleh sekumpulan tekanan selektif yang unik.

Tabel 1. Perbandingan Enam Konsep Spesies

Konsep spesies	Keterangan
Konsep spesies biologis	Menekankan isolasi reproduktif, yaitu kemampuan anggota suatu spesies untuk saling mengawini satu sama lain, tetapi tidak dengan anggota spesies yang lain
Konsep spesies morfologis	Menekankan perbedaan anatomi yang dapat terukur antar spesies. Sebagian besar spesies yang diidentifikasi oleh para ahli taksonomi telah dikelompokkan menjadi spesies terpisah berdasarkan kriteria morfologi

Konsep spesies pengenalan	Menekankan proses adaptasi perkawinan yang telah mantap dalam suatu populasi karena individu "mengenal" ciri-ciri tertentu dari pasangan kawin yang sesuai
Konsep spesies kohesi	Menekankan kohesi fenotipe sebagai dasar penyatuan spesies, dengan masing-masing spesies ditentukan oleh kompleks gennya yang terpadu dan kumpulan adaptasinya
Konsep spesies ekologi	Menekankan peranan spesies (niche/relung), posisi dan fungsinya dalam lingkungan.
Konsep spesies evolusioner	Menekankan pada garis keturunan evolusi dan peranan ekologis

B. Mekanisme Spesiasi

Spesiasi adalah pembentukan spesies baru dan berbeda dari spesies sebelumnya dalam kerangka evolusi. Spesiasi dapat berlangsung cepat, dapat pula berlangsung lama hingga puluhan juta tahun. Setiap populasi terdiri atas kumpulan individu sejenis (satu spesies) dan menempati suatu lokasi yang sama. Karena suatu sebab, populasi dapat terpisah dan masing-masing mengembangkan adaptasinya sesuai dengan lingkungan baru. Dalam jangka waktu yang lama, populasi yang saling terpisah itu masing-masing berkembang menjadi spesies baru sehingga tidak dapat lagi mengadakan perkawinan yang menghasilkan keturunan fertil.

Spesiasi merupakan proses pembentukan spesies baru dan berbeda dari spesies sebelumnya melalui proses perkembangbiakan secara natural dalam kerangka evolusi. Spesiasi sangat terkait dengan evolusi, keduanya merupakan proses perubahan yang berangsur-angsur, sedikit demi sedikit, secara gradual, perlahan tetapi pasti terjadi. Spesiasi lebih ditekankan pada perubahan yang terjadi pada populasi jenis tertentu. Kecepatan spesiasi maupun kepunahan sebagian tergantung pada ukuran kisaran geografis dari suatu daerah. Daerah yang luas cenderung meningkatkan kecepatan spesiasi dan menurunkan kecepatan kepunahan. Jenis yang terdapat di daerah yang luas akan mengalami spesiasi lebih cepat, sedangkan menurunnya luas area akan meningkatkan kepunahan suatu jenis, jadi menurunkan jumlah jenis yang akan mengalami spesiasi.

Spesiasi atau terbentuknya spesies baru dapat diakibatkan oleh adanya isolasi geografi, isolasi reproduksi, dan perubahan genetika (Campbell, 2003). Adapun proses spesiasi ini dapat berlangsung secara cepat atau lama hingga berjuta-juta tahun. Mekanisme isolasi merupakan proses pembentukan individu

baru dengan batasan-batas tertentu. Faktor-faktor yang menjadi pembatas adalah habitat yang berbeda, iklim yang berbeda, gunung yang tinggi, pematangan sel kelamin yang tidak bersama. Mekanisme isolasi dibedakan menjadi tiga.

LATIHAN

1. Jelaskan yang dimaksud dengan spesies,.
2. Jelaskan hal yang melatarbelakang keanekaragaman konsep spesies,.
3. Jelaskan definisi konsep spesies yang di kemukakan oleh Ernst Mayr,.
4. Jelaskan tentang konsep spesies biologis,.
5. Jelaskan mekanisme spesiasi

DAFTAR RUJUKAN

- Burnie, D. 2002. *Evolusi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Campbell, N., Reece, J., & Mitchell, L. 1999. *The Origin of Species*. California: Benjamin/Cummings..
- Slatkin, M. 1977. Gene flow and genetic drift in a species subject to frequent localextinctions. *Theoretical Population Biology* 12: 253-262.
- Stearns, Stephen, Hoekstra, Rolf. 2003. *Evolution an introduction*. New York: Oxford Press.
- Turelli, M., Barton, NH., & Coyne, J.A. 2001. Theory and Speciation. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(7): 330-343.
- Waluyo, L. 2005. *Evolusi Organik*. Malang: UMM Press.
- Widodo, H., Lestari, U., & Amin, M. 2003. *Bahan Ajar Evolusi*. Malang: FMIPA UM.
- Widodo, P. 2007. Spesiasi pada Jambu-Jambuan (*Myrtaceae*): Model Cepat dan Lambat. *Biodiversitas*, 8(1): 79-82.

BAB VII

INTERAKSI ANTARA MAHLUK HIDUP DENGAN LINGKUNGANNYA

Ekosistem adalah kesatuan berbagai makhluk hidup (tumbuhan, hewan, manusia dan jasad renik) dengan lingkungannya (seperti tanah, air, udara, dan iklim) yang saling berhubungan dan saling mempengaruhi (Rushayati, 2006: 16). Untuk memahami evolusi dari aspek interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya perlu memperhatikan hal-hal berikut ini.

A. Domestikasi, Modifikasi, Dan Variasi

Domestikasi merupakan pengadopsian tumbuhan dan hewan dari kehidupan liar ke dalam lingkungan kehidupan sehari-hari manusia. Bagi makhluk hidup domestikasi memberi arti perubahan lingkungannya dari lingkungan yang alami menjadi lingkungan yang dibuat oleh manusia (walaupun demikian sudah barang tentu apa yang dibuat oleh manusia itu tidak harus berbeda sama sekali dengan sifat alamiah). Domestikasi menyebabkan terjadinya penyimpangan karena secara alami, hewan-hewan peliharaan akan memisahkan diri dari hewan-hewan liar dan mempersempit peluang terjadinya interhibridisasi.

Modifikasi merupakan perubahan fenotip yang bukan karena perubahan genotip. Dalam evolusi modifikasi dapat terjadi karena cara adaptasi suatu makhluk hidup terhadap lingkungannya. Ciri atau karakteristik makhluk hidup yang dapat diketahui melalui indera kita disebut sebagai Fenotip, sedangkan yang tidak dapat dilihat dengan indera dan merupakan faktor-faktor bawaan atau faktor dalam disebut sebagai Genotip, yang telah terpadu dengan faktor lingkungan. Jika Fenotip dinyatakan sebagai P, Genotip sebagai G, dan lingkungan sebagai E, maka saling hubungan antara faktor-faktor tersebut dapat dirumuskan sebagai $P = G + E$. Jadi ciri yang tampak karena lingkungan yang berbeda itu hanya bersifat sementara, tidak baka atau perubahan itu disebut sebagai modifikasi.

Individu yang termasuk dalam suatu spesies tidak pernah bersifat identik (sama persis). variasi ini terjadi karena faktor genetis dan lingkungan. Jika individu yang telah mengalami perubahan menghuni tempat yang berbeda dari asalnya, maka dalam perkembangannya akan mengalami perubahan yang

permanen dan akan makin berbeda dengan nenek moyang dari tempat asal usulnya. Terjadinya variasi digunakan sebagai petunjuk evolusi yang mengarah pada terbentuknya spesies baru. Perubahan fenotif disebabkan oleh perubahan genotif karena rekombinasi seksual.

B. Ketergantungan Mahluk Hidup dengan Lingkungannya

Secara umum, variasi gen dalam populasi dapat dibedakan menjadi 5 penyebab (agensia evolutif), yakni mutasi, rekombinasi gen, genetic drift, gen flow dan seleksi alam.

1. Mutasi

Mutasi diartikan sebagai perubahan sifat keturunan (gen). Mutasi terjadi secara acak, yang beradaptasi hanya sebagian kecil. Bila suatu mutasi mempunyai nilai ketahanan dan bentuk baru yang diturunkan telah nampak, maka ketahanan, kedewasaan dan reproduksi dari bentuk baru itu tidak bersifat acak lagi. Faktor- faktor yang menjadi penyebab terjadinya mutasi dikenal sebagai mutagen. Penyebab mutasi

- a. Faktor fisika (radiasi) : Agen mutagenik dari faktor fisika berupa radiasi.
- b. Faktor kimia : Banyak zat kimia bersifat mutagenik.
- c. Faktor biologi : Virus merupakan penyebab kerusakan kromosom

2. Migrasi

Migrasi ke dalam atau ke luar populasi dapat mengubah frekuensi alel, serta menambah variasi genetika ke dalam suatu populasi.

3. Genetic drift

Genetic drift adalah lepasnya frekuensi alela secara kebetulan. Kenyataannya 1 dari 2 alela mempunyai peluang untuk lepas adalah kira-kira 0, 8%. Hilangnya gen selalu mempengaruhi frekuensi alela pada beberapa tingkat tetapi pengaruh tersebut menurun pada populasi yang berukuran besar.

4. Seleksi alam

Seleksi alam yang dimaksud dalam teori evolusi adalah teori bahwa makhluk hidup yang tidak mampu beradaptasi dengan lingkungannya lama kelamaan akan punah.

C. Pengaruh Makhluk Hidup Dengan Lingkungannya

Hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya dipelajari dalam cabang biologi yang disebut ekologi lingkungan. Pada makhluk hidup pada dasarnya meliputi lingkungan fisik dan lingkungan biotik.

Menurut Soedjiran R, dkk (1990:1), ekologi adalah ilmu tentang rumah atau tempat tinggal makhluk. Di dalam komunitas biotik makhluk hidup satu sama lain tergantung, baik langsung maupun tidak langsung, selama perjalanan hidup masing-masing. Walaupun antara sesama makhluk hidup itu saling tergantung, mereka juga bersaing (berkompetisi) untuk memperoleh sumber daya yang menunjang kehidupannya. Kompetisi ini dalam rangka memperoleh makanan, mineral dan air, cahaya dan untuk wilayah kehidupannya (teritorial). Untuk menjelaskan lebih lanjut tentang hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya, dapat dipergunakan konsep-konsep biologik tentang habitat dan relung (Nasia = niche). Habitat adalah tempat makhluk hidup tinggal dan berkembang biak. Pada dasarnya, habitat adalah lingkungan fisik di sekeliling populasi suatu spesies yang memengaruhi dan dimanfaatkan oleh spesies tersebut. Sedangkan relung merujuk pada posisi unik yang ditempati oleh suatu spesies tertentu berdasarkan rentang fisik yang ditempati dan peranan yang dilakukan didalam komunitasnya.

D. Interaksi Mahluk Hidup Dengan Lingkungannya

Dalam kaitannya dengan hubungan manusia dan lingkungannya, terdapat beberapa paham yang menjelaskan hakekat dari hubungan tersebut, yaitu paham determinisme, paham posibilisme, paham optimisme teknologi dan paham keyakinan tuhan.

1. Paham Determinisme

Paham Determinisme memberikan penjelasan bahwa manusia dan perilakunya ditentukan oleh alam. Tokoh-tokoh atau ilmuan yang mengembangkan dan menganut paham determinase diantaranya Charles Darwin, Frederich Ratzel, dan Elsworth Huntington.

2. Paham Posibilisme

Paham posibilisme memberikan penjelasan bahwa kondisi alam itu tidak menjadi faktor yang menentukan, melainkan menjadi faktor pengontrol,

memberikan kemungkinan atau peluang yang mempengaruhi kegiatan atau kebudayaan manusia. Jadi menurut paham ini, alam tidak berperan menentukan tetapi hanya memberikan peluang. Manusia berperan menentukan pilihan dari peluang-peluang yang diberikan alam. Ilmuwan yang menganut paham ini, diantaranya adalah ilmuwan berkebangsaan Perancis bernama Paul Vidal de la Blache (1845-1919). Menurutny, faktor yang menentukan itu bukan alam melainkan proses produksi yang dipilih manusia yang berasal dari kemungkinan yang diberikan alam, seperti iklim, tanah, dan ruang di suatu wilayah. Dalam hal ini, manusia tidak lagi bersikap pasif atau pasrah menerima apapun yang diberikan alam seperti yang diyakini oleh paham determinisme, tetapi aktif dalam pemanfaatannya. Manusia dan kebudayaannya dapat memilih kegiatan yang cocok sesuai dengan kemungkinan yang diberikan oleh alam.

3. Paham Optimisme Teknologi

Dalam hubungannya dengan lingkungan, manusia mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi. Teknologi telah membuat sebagian manusia tidak lagi percaya pada Tuhan. Padahal teknologi merupakan ciptaan manusia dan bertuan pada manusia, bukan sebaliknya. Dari ketiga paham tersebut, masing-masing memiliki komponen kebenarannya. Sebagian aktivitas manusia sangat ditentukan oleh alam, terutama yang memanfaatkan alam secara langsung misalnya aktivitas pertanian. Namun demikian, seiring dengan kemajuan peradaban, manusia banyak melakukan upaya rekayasa untuk mengoptimalkan pemanfaatan alam. Karena itu, paham posibilis dan optimisme teknologi semakin menunjukkan kenyataan.

4. Paham Keyakinan Tuhan

Alam dan seisinya diciptakan oleh Tuhan yang Maha Esa dengan dibantu pengembangan IPTEK disertai pemeliharaanny

LATIHAN

1. Jelaskan yang dimaksud dengan Domestika, dan modifikasi,
2. Sebutkn dan jelaskan macam-macam variasi gen dalam populasi
3. Bagaimana pengaruh mahluk hidup dengan lingkungannya
4. Sebutkan macam-macam paham yang berkaitan dengan hubungan manusia dan lingkungannya

DAFTAR PUSTAKA

- Cartono, 2005. *Biologi Umum Untuk Perguruan Tinggi LPTK*. Bandung Penerbit Prisma Press.
- Jumhana, N. 2006. *Konsep Dasar Biologi*. Bandung: UPI PRESS
- Kimball, Jw. *Biologi*. Jilid 3. Edisi kelima. Alih bahasa Soetarmi, S dan Sugiri, N. Jakarta: Erlangga
- Sri, Y.M. 2006, *Konsep Dasar IPA*. Bandung : UPI PRESS
Sumber: Irwan, Z.D. 2007. *Prinsip-Prinsip Ekologi : Ekosistem*,
Libgkungan, dan Pelestariannya. Jakarta: Penerbit Bumi Aksara
Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Jakarta: Penerbit Bumi Aksara.
- Setiadi, Elly M, Kama A. Hakam dan Ridwan Effendi. 2006. *Ilmu Sosial dan Budaya Dasar*. Jakarta: Kencana.
- Soedjiran, R, dkk. 1990. *Pengantar Ekologi*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Supriatna, Jatna. 2018. *Konservasi Biodiversitas: Teori dan Praktik di Indonesia*. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia.